

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-183540

(43)Date of publication of application : 06.07.2001

(51)Int.Cl. G02B 6/122  
 G02B 6/12  
 G02F 1/377  
 G11B 7/125  
 G11B 7/135  
 H01S 5/022  
 H01S 5/026

(21)Application number : 2000-312717

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 12.10.2000

(72)Inventor : KITAOKA YASUO  
 KASASUMI KENICHI  
 MIZUUCHI KIMINORI  
 YAMAMOTO KAZUHISA

(30)Priority

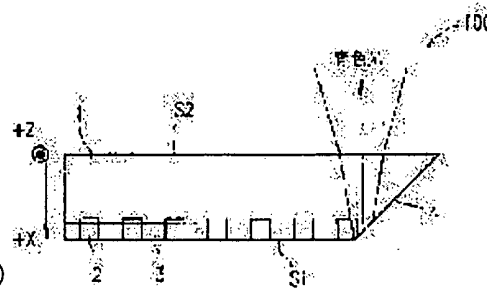
Priority number : 11294623 Priority date : 15.10.1999 Priority country : JP

## (54) OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE, COHERENT LIGHT SOURCE, INTEGRATED UNIT, AND OPTICAL PICKUP DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve problems that a coherent light source which uses a conventional optical waveguide device (1) increases in size along the optical axis, (2) induces a light source noise owing to the feedback of a light reflected by a waveguide projection end surface to the light source, and (3) generates an interference noise owing to the rereflection of external reflected light on the optical waveguide projection end surface.

SOLUTION: This optical waveguide device is equipped with a substrate (1) which has a 1st surface (S1) and a 2nd surface (S2) and an optical waveguide (3) which is formed on the 1st surface (S1) of the substrate (1) and has a light incidence end surface and a slanting surface slanting to the optical waveguide (3); and a waveguide light which is made incident on the optical waveguide (3) from the light incidence end surface is totally reflected by the slanting surface (4) and projected from the 1st surface (S1) or 2nd surface (S2) of the substrate (1).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the

examiner's decision of rejection or application  
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-183540

(P2001-183540A)

(43) 公開日 平成13年7月6日 (2001.7.6)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup>            | 識別記号  | F I     | テームコード* (参考) |
|--------------------------------------|-------|---------|--------------|
| G 0 2 B                              | 6/122 | G 0 2 F | 1/377        |
|                                      | 6/12  | G 1 1 B | 7/125        |
| G 0 2 F                              | 1/377 |         | 7/135        |
| G 1 1 B                              | 7/125 |         |              |
|                                      | 7/135 | H 0 1 S | 5/022        |
| 審査請求 未請求 請求項の数45 O L (全 26 頁) 最終頁に続く |       |         |              |

(21) 出願番号 特願2000-312717(P2000-312717)

(22) 出願日 平成12年10月12日 (2000. 10. 12)

(31) 優先権主張番号 特願平11-294623

(32) 優先日 平成11年10月15日 (1999. 10. 15)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 北岡 康夫

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(72) 発明者 笠澄 研一

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(74) 代理人 100078282

弁理士 山本 秀策

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路デバイス、コヒーレント光源、集積化ユニットおよび光ピックアップ装置

(57) 【要約】

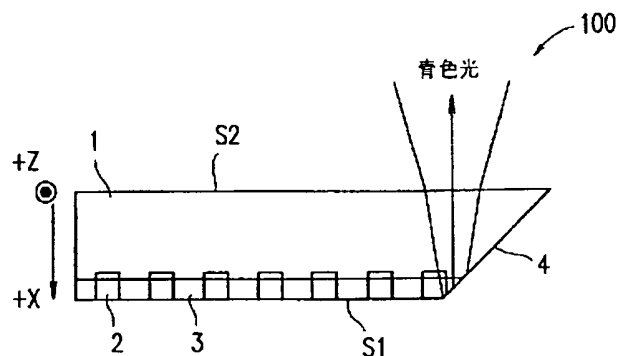
【課題】 従来の光導波路デバイスを用いたコヒーレント光源において、(1) 光軸方向にサイズが大きくなる、(2) 導波路出射端面で反射した光が光源に帰還して光源ノイズを誘起する、(3) 外部からの反射光が光導波路出射端面で再び反射して干渉ノイズを生じるという課題を解決する。

【解決手段】 本発明の光導波路デバイスは、第1の表面 (S1) および第2の表面 (S2) を有する基板

(1) と、基板 (1) の第1の表面 (S1) に形成される光導波路 (3) であって、光導波路 (3) は光入射端面と、光導波路 (3) に対して斜めに傾いている斜面

(4) とを有する、光導波路 (3) と、を備え、光入射端面から光導波路 (3) に入射された導波光が斜面

(4) において全反射され、基板 (1) の第1の表面 (S1) または基板の第2の表面 (S2) から導波光が射出される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の表面および第 2 の表面を有する基板と、

該基板の第 1 の表面に形成される光導波路であって、該光導波路は光入射端面と、光導波路に対して斜めに傾いている斜面とを有する、光導波路と、を備え、該光入射端面から該光導波路に入射された導波光が該斜面において全反射され、該基板の第 1 の表面または該基板の第 2 の表面から導波光が射出される光導波路デバイス。

【請求項 2】 前記導波光は、前記基板の第 1 の表面から射出される、請求項 1 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 3】 前記導波光は、前記基板の第 2 の表面から射出される、請求項 1 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 4】 前記基板が非線形光学材料からなり、前記光導波路に基本波光として入射された前記導波光が第 2 高調波光に波長変換されて射出される、請求項 1 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 5】 前記第 2 高調波光は、前記基板の第 2 の表面から射出される、請求項 4 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 6】 前記基板の厚みが、0.3 mm 以上、1.0 mm 以下である、請求項 5 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 7】 前記基板の第 1 の表面に、前記第 2 高調波光が反射しない無反射部が設けられる、請求項 5 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 8】 前記無反射部が、反射防止コーティングにより形成される、請求項 7 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 9】 前記第 2 高調波光は、前記基板の第 1 の表面から射出される、請求項 4 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 10】 前記基板の第 1 の表面に、前記基本波が反射しない無反射部が設けられる、請求項 9 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 11】 前記無反射部が、反射防止コーティングにより形成される、請求項 10 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 12】 前記光導波路の斜面と該光導波路とのなす角が、45 度 ± 1 度である、請求項 1 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 13】 前記第 2 高調波光が導波モードである、請求項 4 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 14】 前記光導波路の斜面に対応する前記基板のある面全体が、該光導波路に対して斜面である、請求項 1 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 15】 前記光導波路の斜面は、前記基板の第 1 の表面近傍に該光導波路に対してほぼ直交に形成された切り込み部により形成される、請求項 1 に記載の光導

波路デバイス。

【請求項 16】 前記光導波路の斜面は、前記基板の第 1 の表面近傍に該光導波路に対してほぼ直交に形成された凹部により形成される、請求項 1 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 17】 少なくとも前記凹部を除く前記基板の第 1 の表面に保護層をさらに有する、請求項 16 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 18】 前記基板の第 1 の表面上に保護層をさらに有する、請求項 16 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 19】 前記保護層の屈折率  $n_1$  と、前記光導波路を導波する光に対する前記光導波路の実効屈折率  $n_2$  と、前記基板の第 1 の表面と前記凹部側面の法線がなす角  $\theta$  とが、

$$\sin(\theta) > n_1 / n_2$$

の関係を満たす、請求項 18 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 20】 前記光導波路の斜面は、前記基板の第 1 の表面近傍に該光導波路に対してほぼ直交に形成された凹部により形成され、

該光導波路を導波する基本波光の導波モードの深さ  $t_1$  と、該光導波路を導波する前記第 2 高調波光の導波モードの深さ  $t_2$  と、前記凹部の深さ  $t$  とが、  
 $t_2 < t < t_1$

の関係を満たす、請求項 4 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 21】 前記基板の第 1 の表面上に保護層をさらに有し、

前記光導波路の斜面は、前記基板の第 1 の表面近傍に該光導波路に対してほぼ直交に形成された凹部により形成され、

該光導波路を導波する基本波光の該保護層に対する屈折率  $n_{c1}$  と、該光導波路を導波する第 2 高調波光の該保護層に対する屈折率  $n_{c2}$  と、該光導波路の基本波光に対する屈折率  $n_{f1}$  と、該光導波路の第 2 高調波光に対する屈折率  $n_{f2}$  と、該第 1 の表面と前記凹部側面の法線のなす角  $\theta$  とが

$$n_{c2} / n_{f2} < \sin(\theta) < n_{c1} / n_{f1}$$

の関係を満たす、請求項 4 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 22】 前記基板の第 2 の表面上に回折格子が形成される、請求項 5 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 23】 前記基板が第 1 の複屈折性光学結晶からなる、請求項 1 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 24】 前記射出される導波光の光路中に配置され、前記基板の第 1 の複屈折性光学結晶と光学軸が直交する第 2 の複屈折性光学結晶を更に備える、請求項 23 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 25】 前記導波光が射出される表面が略円筒形状である、請求項 1 に記載の光導波路デバイス。

【請求項 26】 前記光導波路デバイスから射出される導波光の光路中に配置される円筒レンズを更に備える、

請求項1に記載の光導波路デバイス。

【請求項27】 前記光導波路デバイスが内に配置される凹形状パッケージを更に備え、前記第2の複屈折結晶が該凹形状パッケージを封止する、請求項24に記載の光導波路デバイス。

【請求項28】 前記光導波路デバイスが内に配置される凹形状パッケージを更に備え、前記円筒レンズが該凹形状パッケージを封止する、請求項26に記載の光導波路デバイス。

【請求項29】 前記基板は、前記光導波路の光入射端面を含む第1の端面と、該第1の端面と対向する第2の端面とを有し、前記斜面と前記基板の第1の表面との交線と、該基板の第2の端面と該基板の第2の表面との交線とを含む面と、前記導波光が射出される方向との間の角度が、該基板の第2の表面から射出される導波光の広がり角の半分よりも大きい、請求項1に記載の光導波路デバイス。

【請求項30】 前記斜面と前記基板の第1の表面との交線と、該第2の端面と該基板の第2の表面との交線とを含む面と、前記導波光が射出される方向とのなす角度 $\theta$ と、該基板の第2の表面から取り出される該導波光の広がり角 $\theta_1$ が、 $\theta_1/2 < \theta$

の関係を満たす、請求項29に記載の光導波路デバイス。

【請求項31】 前記基板の第1の表面に形成される周期的分極反転領域をさらに有する、請求項1に記載の光導波路デバイス。

【請求項32】 前記周期的分極反転領域は、前記光導波路の該斜面近傍に形成されない、請求項31に記載の光導波路デバイス。

【請求項33】 半導体レーザと、請求項1に記載の光導波路デバイスとを備える、コヒーレント光源。

【請求項34】 前記半導体レーザが、波長可変型の半導体レーザである、請求項33に記載のコヒーレント光源。

【請求項35】 前記半導体レーザの光射出端面と前記光導波路の光入射端面との距離が、 $0\mu\text{m}$ 以上かつ $10\mu\text{m}$ 以下である、請求項33に記載のコヒーレント光源。

【請求項36】 半導体レーザと、該半導体レーザからの光が入射される請求項3に記載の光導波路デバイスと、を有するコヒーレント光源と、該光導波路デバイスから射出された光に関連する光を検出する光検出器と、該コヒーレント光源と該検出器とが同一面上に配置されるサブマウントと、を備える集積化ユニット。

【請求項37】 前記コヒーレント光源と前記光検出器との間に配置される遮光体を更に備える、請求項36に

記載の集積化ユニット。

【請求項38】 前記光検出器表面の前記サブマウント面からの高さが、前記コヒーレント光源の光射出側の表面より高い、請求項36に記載の集積化ユニット。

【請求項39】 前記サブマウント表面に凹部が形成され、前記コヒーレント光源が該凹部に配置される、請求項36に記載の集積化ユニット。

【請求項40】 半導体レーザと、該半導体レーザからの光が入射される請求項2に記載の光導波路デバイスと、を有するコヒーレント光源と、該光導波路デバイスから射出された光に関連する光を検出する光検出器と、

第1の面と、該第1の面の裏面である第2の面とを有するサブマウントであって、該コヒーレント光源が該サブマウントの第1面上に配置され、該光検出器が該第2面上に配置される、サブマウントと、を備える集積化ユニット。

【請求項41】 請求項33に記載のコヒーレント光源と、該コヒーレント光源を中に配置する凹形状パッケージと、該凹形状パッケージを封止し、表面に回折格子が形成されている透明基板とを、備える集積化ユニット。

【請求項42】 請求項36に記載の集積化ユニットと、該集積化ユニットから射出された光を集光する集光光学系と、を備え、該集積化ユニットの前記光導波路デバイスから導波光が射出される表面に回折格子が形成される、光ピックアップ装置。

【請求項43】 請求項41に記載の集積化ユニットと、該集積化ユニットから射出された光を集光する集光光学系と、を備える、光ピックアップ装置。

【請求項44】 前記集積化ユニットの光検出器が、中央の第1領域と、該第1の領域の両側の第2領域および第3領域の少なくとも3つの領域に分割され、該第1の領域に対する該第2領域および該第3領域は、前記回折格子の格子縞に対して垂直な方向に配置される、請求項42に記載の光ピックアップ装置。

【請求項45】 半導体レーザと、該半導体レーザからの光が入射される請求項1に記載の光導波路デバイスと、該光導波路デバイスから射出された光に関連する光を検出する2つの光検出器と、該コヒーレント光源と該検出器とが配置されるサブマウントと、該光導波路デバイスから射出された光を集光する集光光学系と、該集光光学系中に配置されたレンズ作用を有する回折素

子と、を備え、  
該2つの光検出器は、該光導波路デバイスに対して対向するように位置し、該2つの検出器は各々中央部分と周辺部分に分割された領域を少なくとも有し、該回折素子によって回折された光が該2つの検出器の各々を照射する、光ピックアップ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光情報処理分野および光通信分野等に利用される光導波路デバイス、コヒーレント光源、それを用いた集積化ユニットおよび光ピックアップ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光情報処理分野において、光ディスクの情報高密度化およびディスプレイの高精細化を実現するためには、小型の短波長光源が必要とされている。この短波長化のための技術として、従来、半導体レーザと擬似位相整合（以下、QPMと記す）方式の光導波路型波長変換（山本他、Optics Letters Vol. 16, No. 15, 1156 (1991)）デバイスを用いた第2高調波発生（以下、SHGと記す）技術が知られている。

【0003】図20に、光導波路型波長変換デバイス83を用いたSHG青色レーザ2000の概略構成図を示す。ここでは、半導体レーザとして分布ブラッグ反射

（以下、DBRと記す）領域を有する波長可変型半導体レーザ80が用いられている。以下、DBR領域を有する波長可変型の半導体レーザを波長可変DBR半導体レーザと記す。この波長可変DBR半導体レーザ80は、0.85 $\mu$ m帯の100mW級AlGaAs系DBR半導体レーザであり、活性領域81とDBR領域82を備える。このDBR領域82への注入電流を変化させることにより、半導体レーザの発振波長を変化させることができる。そして、波長変換素子である光導波路型波長変換デバイス83は、X板（基板に垂直な方向が結晶のX軸である基板）MgOドープLiNbO<sub>3</sub>基板上に形成された光導波路84と周期的な分極反転領域85から構成されている。上記波長可変DBR半導体レーザ80の出射面から出射されたレーザ光は、光導波路型波長変換デバイス83の光導波路84に結合される。この図20の構成では、100mWのレーザ出力に対して60mWのレーザ光が光導波路に結合した。そして波長可変DBR半導体レーザ80のDBR領域82への注入電流量を制御して、発振波長を光導波路型波長変換デバイス83の位相整合波長許容度内に固定することにより、波長425nmの青色光が10mW程度得られる。

【0004】このようなSHG青色レーザ2000を光ディスク記録再生装置に応用する場合には、図21に示すような構成の光ピックアップ2100に搭載して用いる。ここでは、モジュール（SHG青色レーザ200

0）から出射した青色光は、コリメートレンズ86によりコリメートされ、偏光ビームスプリッタ87（以下、PBSと記す）および1/4波長板88を透過する。その後、立ち上げミラー（図示せず）によりその方向が90度曲げられ（紙面に対して垂直方向）、対物レンズ89により光ディスク95上に集光される。そして、光ディスク95からの反射光は、PBS87によりその方向が90度曲げられ、検出レンズとシリンドリカルレンズから構成される検出レンズ系90によってフォトディテクタ91（以下、PDと記す）に導かれ、信号検出が行われる。この光ピックアップ2100を用いることにより、10GB以上の高密度光ディスクの再生が実現される。

【0005】一方、図22に示すように、光導波路中に45度の切れ込みを入れて全反射面を形成し、基板に対して垂直方向に出力光を取り出す方法が提案されている（内田ら、電子情報通信学会春季大会、C3.28、1994年）。この方法では、ガラス基板92上に2重イオン交換を行ってガラスからなる光導波路93を形成し、この光導波路93中にマイクロ加工によって45度の切り込み94を入れる。この加工は特殊なブレードを用いて行い、切り込み94の切り込み面は切断と同時に研磨される。これにより、0.3dBの低損失な反射面が実現される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】近年では、コンピュータの小型化に伴って、小型・薄型の光ピックアップが要求されている。そして光ピックアップの小型化・薄型化を実現するためには、光源の小型化だけではなく、光ピックアップの構成についても重要である。また、以下のような戻り光や干渉ノイズ等に対する対策も重要である。

【0007】1) ピックアップの小型化・薄型化

図21に示した従来の光ピックアップ2100の構成では、モジュールの光軸方向と光ピックアップの光軸方向とが平行であるため、光ピックアップ2100が光軸方向に長くなる。半導体レーザチップを用いる場合には、素子長が1mm以下であるためにそれほど問題にはならない。しかし、SHG青色レーザ2000は半導体レーザと光導波路型波長変換デバイスにより構成されているため、モジュールサイズが10mm程度の長さとなり、光ピックアップが極端に長くなる。また、図21に示した構成では、光検出系（検出レンズ、シリンドリカルレンズおよびPD）が分離されているために、光ピックアップが大きくなる。

【0008】2) 戻り光対策

半導体レーザと光導波路デバイスとから構成されるモジュールにおいては、光導波路デバイスの出射端面からの反射戻り光が半導体レーザに帰還して、半導体レーザのマルチ縦モード化が生じる。このため、ノイズ特性など

が劣化してしまう。

【0009】3) 干渉ノイズ低減

SHG青色レーザ2000においては、青色光が半導体レーザ光を基本波とした波長変換により得られる。このため、外部での反射光による戻り光成分が半導体レーザに帰還しても、ノイズを増加させないという特徴を有する。その結果、半導体レーザが単一モードで動作し、結果として低ノイズ(-140dB/Hz以下)が実現される。しかしながら、青色光は高い可干渉性を有するため、外部に共振器構造を有する場合、共振器条件が変化すると干渉によって振幅変動を発生する。図21に示した光ピックアップ2100の構成では、光ディスク95面と光導波路型波長変換デバイスの出射端面とが共焦点光学系を形成する。このため、光ディスクが回転して干渉条件が変化すると、PD91上で受光される光強度が変化し、ディスク再生を行ったときの信号波形の劣化を招く。

【0010】本発明はこのような従来技術の課題を解決するためになされたものであり、小型化・薄型化を図ることができ、半導体レーザへの戻り光や干渉ノイズによる問題を防ぐことができる光導波路デバイス、コヒーレント光源、集積化ユニットおよび光ピックアップ装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の光導波路デバイスは、第1の表面および第2の表面を有する基板と、該基板の第1の表面に形成される光導波路であって、該光導波路は光入射端面と、光導波路に対して斜めに傾いている斜面とを有する、光導波路と、を備え、該光入射端面から該光導波路に入射された導波光が該斜面において全反射され、該基板の第1の表面または該基板の第2の表面から導波光が射出される。

【0012】前記導波光は、前記基板の第1の表面から射出されてもよい。

【0013】前記導波光は、前記基板の第2の表面から射出されてもよい。

【0014】前記基板が非線形光学材料からなり、前記光導波路に基本波光として入射された前記導波光が第2高調波光に波長変換されて射出されてもよい。

【0015】前記第2高調波光は、前記基板の第2の表面から射出されてもよい。

【0016】前記基板の厚みが、0.3mm以上、1.0mm以下であってもよい。

【0017】前記基板の第1の表面に、前記第2高調波光が反射しない無反射部が設けられてもよい。

【0018】前記無反射部が、反射防止コーティングにより形成されてもよい。

【0019】前記第2高調波光は、前記基板の第1の表面から射出されてもよい。

【0020】前記基板の第1の表面に、前記基本波が反

射しない無反射部が設けられてもよい。

【0021】前記無反射部が、反射防止コーティングにより形成されてもよい。

【0022】前記光導波路の斜面と該光導波路とのなす角が、45度±1度であってもよい。

【0023】前記第2高調波光が導波モードであってもよい。

【0024】前記光導波路の斜面に対応する前記基板のある面全体が、該光導波路に対して斜面であってもよい。

【0025】前記光導波路の斜面は、前記基板の第1の表面近傍に該光導波路に対してほぼ直交に形成された切り込み部により形成されてもよい。

【0026】前記光導波路の斜面は、前記基板の第1の表面近傍に該光導波路に対してほぼ直交に形成された凹部により形成されてもよい。

【0027】少なくとも前記凹部を除く前記基板の第1の表面に保護層をさらに有してもよい。

【0028】前記基板の第1の表面上に保護層をさらに有してもよい。

【0029】前記保護層の屈折率 $n_1$ と、前記光導波路を導波する光に対する前記光導波路の実効屈折率 $n_2$ と、前記基板の第1の表面と前記凹部側面の法線がなす角 $\theta$ とが、

$$\sin(\theta) > n_1/n_2$$

の関係を満たしてもよい。

【0030】前記光導波路の斜面は、前記基板の第1の表面近傍に該光導波路に対してほぼ直交に形成された凹部により形成され、該光導波路を導波する基本波光の導波モードの深さ $t_1$ と、該光導波路を導波する前記第2高調波光の導波モードの深さ $t_2$ と、前記凹部の深さ $t$ とが、 $t_2 < t < t_1$ の関係を満たしてもよい。

【0031】前記基板の第1の表面上に保護層をさらに有し、前記光導波路の斜面は、前記基板の第1の表面近傍に該光導波路に対してほぼ直交に形成された凹部により形成され、該光導波路を導波する基本波光の該保護層に対する屈折率 $n_{c1}$ と、該光導波路を導波する第2高調波光の該保護層に対する屈折率 $n_{c2}$ と、該光導波路の基本波光に対する屈折率 $n_{f1}$ と、該光導波路の第2高調波光に対する屈折率 $n_{f2}$ と、該第1の表面と前記凹部側面の法線のなす角 $\theta$ とが $n_{c2}/n_{f2} < \sin(\theta) < n_{c1}/n_{f1}$ の関係を満たしてもよい。

【0032】前記基板の第2の表面上に回折格子が形成されてもよい。

【0033】前記基板が第1の複屈折性光学結晶からなってもよい。

【0034】前記射出される導波光の光路中に配置され、前記基板の第1の複屈折性光学結晶と光学軸が直交する第2の複屈折性光学結晶を更に備えてもよい。

【0035】前記導波光が射出される表面が略円筒形状

であってもよい。

【0036】前記光導波路デバイスから出射される導波光の光路中に配置される円筒レンズを更に備えてもよい。

【0037】前記光導波路デバイスが内に配置される凹形状パッケージを更に備え、前記第2の複屈折結晶が該凹形状パッケージを封止してもよい。

【0038】前記光導波路デバイスが内に配置される凹形状パッケージを更に備え、前記円筒レンズが該凹形状パッケージを封止してもよい。

【0039】前記基板は、前記光導波路の光入射端面を含む第1の端面と、該第1の端面と対向する第2の端面とを有し、前記斜面と前記基板の第1の表面との交線と、該基板の第2の端面と該基板の第2の表面との交線とを含む面と、前記導波光が出射される方向との間の角度が、該基板の第2の表面から出射される導波光の広がり角の半分よりも大きくてもよい。

【0040】前記斜面と前記基板の第1の表面との交線と、該第2の端面と該基板の第2の表面との交線とを含む面と、前記導波光が出射される方向とのなす角度 $\theta$ と、該基板の第2の表面から取り出される該導波光の広がり角 $\theta_1$ が、

$$\theta_1/2 < \theta$$

の関係を満たしてもよい。

【0041】前記基板の第1の表面に形成される周期的分極反転領域をさらに有してもよい。

【0042】前記周期的分極反転領域は、前記光導波路の該斜面近傍に形成されなくてもよい。

【0043】本発明のコヒーレント光源は、半導体レーザと、上記に記載の光導波路デバイスとを備える。

【0044】前記半導体レーザが、波長可変型の半導体レーザであってもよい。

【0045】前記半導体レーザの光出射端面と前記光導波路の光入射端面との距離が、 $0\mu\text{m}$ 以上かつ $10\mu\text{m}$ 以下であってもよい。

【0046】本発明の集積化ユニットは、半導体レーザと、該半導体レーザからの光が入射される上記に記載の光導波路デバイスと、を有するコヒーレント光源と、該光導波路デバイスから出射された光に関連する光を検出する光検出器と、該コヒーレント光源と該検出器とが同一面上に配置されるサブマウントと、を備える。

【0047】前記コヒーレント光源と前記光検出器との間に配置される遮光体を更に備えてもよい。

【0048】前記光検出器表面の前記サブマウント面からの高さが、前記コヒーレント光源の光出射側の表面より高くてもよい。

【0049】前記サブマウント表面に凹部が形成され、前記コヒーレント光源が該凹部に配置されてもよい。

【0050】本発明の集積化ユニットは、半導体レーザと、該半導体レーザからの光が入射される上記に記載の

光導波路デバイスと、を有するコヒーレント光源と、該光導波路デバイスから出射された光に関連する光を検出する光検出器と、第1の面と、該第1の面の裏面である第2の面とを有するサブマウントであって、該コヒーレント光源が該サブマウントの第1面上に配置され、該光検出器が該第2面上に配置される、サブマウントと、を備える。

【0051】本発明の集積化ユニットは、上記に記載のコヒーレント光源と、該コヒーレント光源を中に配置する凹形状パッケージと、該凹形状パッケージを封止し、表面に回折格子が形成されている透明基板とを、備える。

【0052】本発明の光ピックアップ装置は、上記に記載の集積化ユニットと、該集積化ユニットから出射された光を集光する集光光学系と、を備え、該集積化ユニットの前記光導波路デバイスから導波光が出射される表面に回折格子が形成される。

【0053】本発明の光ピックアップ装置は、上記に記載の集積化ユニットと、該集積化ユニットから出射された光を集光する集光光学系と、を備える。

【0054】前記集積化ユニットの光検出器が、中央の第1領域と、該第1の領域の両側の第2領域および第3領域の少なくとも3つの領域に分割され、該第1の領域に対する該第2領域および該第3領域は、前記回折格子の格子縞に対して垂直な方向に配置されてもよい。

【0055】本発明の光ピックアップ装置は、半導体レーザと、該半導体レーザからの光が入射される上記に記載の光導波路デバイスと、該光導波路デバイスから出射された光に関連する光を検出する2つの光検出器と、該コヒーレント光源と該検出器とが配置されるサブマウントと、該光導波路デバイスから出射された光を集光する集光光学系と、該集光光学系中に配置されたレンズ作用を有する回折素子と、を備え、該2つの光検出器は、該光導波路デバイスに対して対向するように位置し、該2つの検出器は各々中央部分と周辺部分に分割された領域を少なくとも有し、該回折素子によって回折された光が該2つの検出器の各々を照射する。

【0056】以下、本発明の作用について説明する。

【0057】本発明にあつては、光導波路デバイスの基板の第1の表面の光導波路に設けられた斜面において導波光が全反射し、その光導波路が設けられた基板の第1の表面または第2の表面から光が出射される。この光導波路デバイスと半導体レーザとを組み合わせることでコヒーレント光源（モジュール）を構成することにより、その光軸とは異なる第1または第2の表面方向に光が出射されるので、光ピックアップの小型化を図ることが可能となる。また、従来の出射端面を垂直に研磨した構造のように、光導波路の出射端面で反射されて半導体レーザに帰還する光が低減され、ノイズ特性が向上する。

【0058】光導波路デバイスを構成する基板の厚み

10

20

30

40

50



は、0.3mm未満ではハンドリングが困難であり、

1.0mmより大きいと集光スポットにおいて非点収差が大きくなるので、0.3mm以上1.0mm以下であるのが好ましい。

【0059】この光導波路デバイスを構成する基板が非線形光学材料からなり、光導波路に入射した半導体レーザの基本波が第2高調波光に波長変換される場合、外部での反射による戻り光成分(第2高調波光)が半導体レーザに帰還してもノイズは増加しない。しかし、例えば青色光の場合には、干渉性が高いため、第2の表面から光が出射される時、第1の表面側に第2高調波光に対する反射防止コーティングを施して、戻り光が第1の表面で再反射されないようにするのが好ましい。

【0060】また、本発明にあっては、光導波路デバイスの光導波路に設けられた斜面において導波光が全反射し、光導波路が設けられた第1の表面から取り出される場合、この光導波路デバイスを半導体レーザと組み合わせモジュールの構成とした場合に、その光軸とは異なる第1の表面方向に光が出射されるので、光ピックアップの小型化を図ることが可能である。また、従来の出射端面を垂直に研磨した構造に比べて、光導波路の斜面で反射されて半導体レーザに帰還する光が少なく、ノイズ特性が向上する。

【0061】この光導波路デバイスを構成する基板が非線形光学材料からなり、光導波路に入射した基本波が第2高調波光に波長変換される場合、外部での反射による戻り光成分(第2高調波光)が半導体レーザに帰還してもノイズは増加しない。しかし、この構成では、光が斜面で全反射した直後に第1の表面に到達するので、第1の表面側に基本波に対する反射防止コーティングを施し、基本波が第1の表面で再反射して光導波路に戻らないようにするのが好ましい。

【0062】さらに、光導波路デバイスにおいて、光導波路の斜面を光導波路に対して45度以外の角度で形成すると、集光スポットにコマ収差が発生するので、略45度(45度±1度)の角をなして形成するのが好ましい。

【0063】光導波路デバイスを構成する基板が非線形光学材料からなり、光導波路に入射した半導体レーザの基本波が第2高調波光に波長変換される場合、高調波光が導波モードであるのが好ましい。導波モードでは放射モードに比べて基板を薄くし、非点収差等の抑制することが可能である。また、光導波路の光が放射モードの場合には、基板方向に放射するために基板の厚みが必要であり、後述のように凹部等で斜面を構成する場合には、深い凹部が必要になる。さらに、光ディスク記録再生装置への応用を考えると、放射モードの場合には良好な集光特性を得ることが困難である。

【0064】本発明にあっては、第1の表面近傍に光導波路とほぼ直交するように凹部(溝)や切り込み部等を

形成して、この凹部や切り込み部の一部分(例えば側面)を光導波路の斜面としてもよい。この場合、半導体プロセスで用いられるエッチング等により斜面を有する凹部を形成することができ、光学研磨等に比べて容易に斜面を形成可能である。なお、図22のように光導波路部の出射付近は、その周囲と比べて凸形状である場合よりも、凹形状である場合の方が光導波路デバイスを取り扱う際の損傷を低減することができる。

【0065】光導波路が形成された基板の第1の表面側をサブマウントに配置する場合には、光導波路とサブマウントが接触すると光導波路の伝搬損失が大幅に増大するため、光導波路の表面に保護層を設けるのが好ましい。この場合、基板の凹部にも保護層があると、その屈折率によっては凹部の反射率が低下する。よって、凹部を除く基板の第1の表面に保護層を設けるのが好ましい。

【0066】基板の第1の表面に保護層を有している場合、凹部側面(光導波路の斜面)での全反射条件を満足させるためには、保護層の屈折率 $n_1$ と、光導波路を導波する光に対する光導波路の実効屈折率 $n_2$ と、第1の表面と凹部側面(斜面)の法線がなす角 $\theta$ とが、

$$\sin(\theta) > n_1 / n_2$$

の関係を満足しているのが好ましい。

【0067】また、光導波路を伝搬する基本波と高調波は、波長および屈折率分散の関係から、異なる電界分布を有しており、深さ方向の広がり異なる。よって、光導波路を導波する基本波の導波モードの深さ $t_1$ と、光導波路を導波する第2高調波の導波モードの深さ $t_2$ と、凹部の深さ $t$ とを、

$$t_2 < t < t_1$$

の関係を満足するようにすれば、高調波は凹部によって全反射して外部に取り出され、基本波は大半が凹部を通過して光導波路をそのまま伝搬するので、波長分離が可能となる。これにより、高調波出力に混ざった基本波出力が低減されるまた、波長分離された基本波を検出して基本波の出力特性をモニターすることも可能である。

【0068】また、基本波と高調波とで全反射条件を満足する保護膜の屈折率が異なることから、波長分離が可能となる。保護層の基本波に対する屈折率 $n_c$ と、保護層の第2高調波に対する屈折率 $n_{c2}$ と、光導波路の基本波に対する屈折率 $n_{f1}$ と、光導波路の第2高調波に対する屈折率 $n_{f2}$ と、第1の表面と前記凹部側面の法線のなす角 $\theta$ とが

$$n_{c2} / n_{f2} < \sin(\theta) < n_{c1} / n_{f1}$$

の関係を満足するような保護膜を用いて膜厚を適切に設定すれば、高調波に対してのみ全反射条件が満足されて波長分離が可能となる。これにより、高調波出力に混ざった基本波出力が低減されるまた、波長分離された基本波を検出して基本波の出力特性をモニターすることも可能である。

【0069】光導波路が形成された基板の第1の表面とは反対側の第2の表面から光を取り出す場合には、その第2の表面上に回折格子を形成することにより、従来個別部品として必要であった回折素子を兼用して部品点数を削減することが可能である。

【0070】上記光導波路デバイスにおいて、基板の第2の表面から光を取り出す場合には、斜面で反射された光は基板中を発散ビームとして伝搬し、様々な方向成分を有する光となる。この基板が複屈折性光学結晶からなる場合、常光に対する屈折率と異常光に対する屈折率が異なるため、光導波路デバイスから出射される光ビームは光導波路に平行な方向とそれに垂直な方向とで位相差が生じ、コリメート後の波長板面が非点収差成分を有するものになる。そこで、光導波路デバイスから出射される光の発散光路中に、基板を構成する複屈折性光学結晶と光学軸が直交する第2の複屈折性光学結晶を配置して、非点収差成分を補正するのが好ましい。

【0071】または、光導波路デバイスから光が出射される基板表面（第2の表面）を略円筒形状として非点収差成分を補正することも可能である。

【0072】または、光導波路デバイスから出射される光の光路中に円筒レンズを配置して非点収差成分を補正することも可能である。

【0073】本発明のコヒーレント光源において、光導波路デバイスと半導体レーザとを凹形状パッケージ内に配置する場合、凹形状パッケージを封止する封止板を上記第2の複屈折結晶として兼用すれば、部品点数を削減することが可能であるので好ましい。または凹形状パッケージを封止する封止板を上記円筒レンズとして兼用してもよい。

【0074】また、半導体レーザの光出射端面と光導波路の光入射端面との距離を数 $\mu\text{m}$ 程度（例えば $0\mu\text{m}$ 以上かつ $10\mu\text{m}$ 以下）にすることにより、結合レンズを用いない直接結合方式により、入射端面での戻り光によるノイズを低減することが可能である。

【0075】さらに、SHG素子においてはその位相整合波長に入射光の波長を一致させる必要があり、波長安定化機能が必要とされる。そこで、半導体レーザとして波長可変DBRレーザ等の波長可変型半導体レーザを用いることにより、発振波長を光導波路型波長変換デバイスの位相整合波長強度内に固定することが可能であり、その機能を集積化して小型化および安定化を実現することができる。

【0076】本発明の集積化ユニットにあつては、本発明の光導波路が形成された基板の第1の表面とは反対側の第2の表面から光を取り出す構成のコヒーレント光源と、光検出器とがサブマウントの同一面上に配置されている。本発明のコヒーレント光源では出射光が第2の表面から取り出されるので、光の出射面近傍に検出器を容易に集積化可能であり、位置合わせが容易で効率良く組

立可能である。

【0077】コヒーレント光源と光検出器との間に遮光体を配置すると、迷光成分が光検出器に到達するのを防ぐことが可能である。または、光検出器表面のサブマウント面からの高さを、コヒーレント光源の光出射側の表面より高くしてもよい。または、サブマウント表面に凹部を形成し、その凹部にコヒーレント光源を配置してもよい。

【0078】また、本発明の集積化ユニットにあつては、本発明の光導波路が形成された基板の第1の表面から光を取り出す構成のコヒーレント光源がサブマウントの第1面上に配置され、光検出器が第1面の裏面である第2面上に配置されている。このため、上述のように遮光体や凹部を設けなくても迷光が光検出器に到達するのを容易に防ぐことが可能である。

【0079】さらに、集積化ユニットやコヒーレント光源を凹形状パッケージ内に配置する場合には、回折素子を用いることにより安定した光ピックアップ光学系が実現される。さらに、その凹形状パッケージを封止する透明基板上に回折格子を形成することにより、光ピックアップの部品点数を削減することが可能である。

【0080】本発明の光ピックアップ装置にあつては、本発明の集積化ユニットを用いているので装置の小型化および薄型化を図ることが可能である。さらに、その集光光学系中、光導波路デバイスの基板表面、または凹形状パッケージを封止する透明基板上に回折格子を備えているので、従来個別部品として必要であった回折素子を兼用して部品点数を削減することが可能である。

【0081】本発明の光ピックアップ装置において、集積化ユニットの光検出器を中央の第1領域（フォーカス用光検出器）と、第1の領域の両側の第2領域（トラッキング用光検出器）および第3領域（トラッキング用光検出器）の少なくとも3つの領域に分割して第2領域および第3領域を回折格子の格子縞に対して垂直な方向に配置することにより、例えば3ビームトラッキング法による信号検出が可能となる。この場合、光源に近接した位置に回折格子が配置されるので、集積化ユニットの光導波路デバイスを構成する基板表面に回折格子を設けることが可能である。この回折格子により出射光は0次および $\pm 1$ 次の3つのビームに分割される。このうち、0次光は光ディスク上の対象トラックを照射して、光ディスクからの反射光がフォーカス用検出器を照射してRF信号が検出される。一方、 $\pm 1$ 次光はトラッキング誤差信号を検出するためのサブビームとなって各トラッキング用光検出器で検出され、それらの差動出力信号からトラッキング誤差信号が得られる。

【0082】さらに、光検出器をコヒーレント光源に対して両側に配置し、各検出器に中央部分と周辺部分に分割された領域（フォーカス用光検出器）を設けて、集光光学系とレンズ作用を有する第2の回折素子（ホログラ

ム)を設けておいてもよい。この場合、第2の回折素子により光ディスクからの反射光が回折される際に、一方側のフォーカス用光検出器に合焦前の光スポットが形成され、他方側のフォーカス用光検出器に合焦後の光スポットが形成される。よって、例えばスポットサイズディテクション(SSD)法による信号検出が可能となる。

#### 【0083】

【発明の実施の形態】従来の光導波路デバイスは、光導波路の出射端面から、端面を透過して出力光を得ていた。このため、このような従来の光導波路デバイスと半導体レーザから構成されるコヒーレント光源は、以下のような課題を有していた。

【0084】1) モジュールの大きさが、光ピックアップの小型化などを制約する。

【0085】2) 出射端面からの戻り光が半導体レーザに帰還して、ノイズ特性を劣化させる。

【0086】3) 外部の共焦点面との干渉により、出力光が変動する。

【0087】上記課題を解決するために、本実施の形態では、光導波路に対して斜めに傾いている斜面を形成し、光導波路の導波光をその斜面において全反射させて、基板の表面から導波光を取り出す構成について説明する。なお、本実施の形態では、光導波路が形成された基板上の第1の表面をS1とし、それと対向する基板表面をS2とする。

【0088】以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。特に、光導波路デバイスとして、非線形光学結晶からなる基板上に周期的分極反転領域と光導波路を形成された擬似位相整合方式(QPM)第2高調波発生(SHG)デバイスについて説明する。また、コヒーレント光源としては、AlGaAs系の近赤外半導体レーザとQPM-SHGデバイスにより構成されるSHG青色レーザについて説明する。このSHG青色レーザは、高密度光ディスク用の光源として有望であり、上記課題が特に重要な問題となる。

【0089】(実施の形態1)本実施の形態1では、光導波路デバイスにおいて光導波路の入射端面とは反対側の端面が光導波路に対して斜めに傾いており、光導波路の導波光がその斜面において全反射し、基板の光導波路が形成された表面S1の反対側の表面S2から導波光を取り出す構成について説明する。

【0090】図1Aは、本実施の形態1における光導波路型QPM-SHGデバイス100の概略構成を示す斜視図である。ここでは、MgドープLiNbO<sub>3</sub>基板1上に周期的分極反転領域2とプロトン交換光導波路3が形成され、光導波路3の入射側とは反対側の端面4が光導波路3に対して斜めに傾いた斜面になっている。

【0091】図1Aにおいて、紙面の下方向をX軸、光導波路の入射端面から出射端面の方向をY軸、および、X軸およびY軸に垂直で紙面に対して手前側の方向をZ

軸とする。なお、この座標軸を、本明細書においてしばしば引用する。

【0092】この光導波路デバイス100は、以下のようにして作製した。両面を光学研磨した厚み0.5mmのMgドープLiNbO<sub>3</sub>基板1の+X面(S1)に、Taからなる櫛形電極と平行電極をパターンニングした。この櫛形電極の周期は3.2μmとし、波長850nmの光に対して擬似位相整合するように設計した。基板1の-X面(S2)には、Taからなる裏面電極を全面に蒸着した。そして、櫛形電極と平行電極の間、および櫛形電極と-X面に形成された裏面電極に、それぞれ電界を印加し、周期的分極反転領域2を形成した(2次元電界印加法)。これらの電極を除去後、周期的分極反転領域2と直行する方向に、厚み5μmのTaからなるストライプ電極を形成し、ピロリン酸中でプロトン交換を行った。プロトン交換後にアニールを行って、光導波路型QPM-SHGデバイスを作製した。得られた光導波路型QPM-SHGデバイスの端面を、光学研磨した。このとき、光入射端面を垂直に研磨し、反対側の端面4を光導波路3の方向(すなわちY軸方向)に対して45度の角度をなすように光学研磨した。斜面4の研磨は、光導波路型QPM-SHGデバイスを研磨ジグに45度の角度をもたせて固定し、通常の光学研磨により行った。研磨後、端面の反射防止コーティングを行った。入射端面には、基本波光である波長850nmに対する反射防止コート形成した。この反射防止コートの反射特性は0.03%であった。また、MgドープLiNbO<sub>3</sub>基板1の屈折率は2.2程度であり、端面(斜面)4では全反射が生じるため、斜面4には何もコーティングを行わなかった。基板1の両表面(すなわち、+X面(S1)および-X面(S2))には、波長変換により得られる青色光(425nm)に対する反射防止コートを形成した。

【0093】このようにして得られた光導波路型QPM-SHGデバイス100を用いて図2に示すようなコヒーレント光源200を構成し、その特性を評価した。基本波としては、AlGaAs系の波長可変DBR半導体レーザ5(波長850nm)を用いた。波長可変DBR半導体レーザ5は、活性領域6とDBR領域7の2電極から構成され、DBR領域7への注入電流を調整することにより、発振波長を調整することができる。レンズ8を用いて光結合を行ったところ、半導体レーザ出力100mWに対して45mWの半導体レーザ光が、光導波路3が形成された基板表面(S1)の反対面(S2)から得られる。導波損失を1dB、基板表面の反射損失(425nmに対する反射防止コートが形成されているため)を10%程度とすると、60mW程度の半導体レーザ光が光導波路内に結合したものと考えられる。比較のために出射端面を垂直に研磨したサンプルを測定したところ、45mWの半導体レーザ光が出射端面から得られ

る。

【0094】従来のように出射端面を垂直に研磨したサンプルでは、出射端面での反射光が半導体レーザに帰還するため、出射端面にも850nmに対する反射防止コート形成する必要がある。波長可変DBR半導体レーザでは、反射戻り光が0.05%程度であっても、波長可変時にマルチ縦モード化を生じる。したがって、入射および出射端面の反射防止コートの反射率をそれぞれ0.02%以下にするという厳しい仕様が要求されていた。これに対して、本実施の形態のように光導波路に対して45度の斜めに研磨した斜面4で、半導体レーザ光が全反射することから、斜面4からの反射戻り光はなく、入射端面からの反射戻り光のみを考慮すればよく、反射防止コートのトレランスを大きくすることができる。よって、本実施の形態では斜面4からの戻り光が無いため、入射端面の反射防止コートの反射率が0.03%であっても、良好な波長可変特性が得られた。

【0095】次に、波長可変DBR半導体レーザ5の発振波長を光導波路型QPM-SHGデバイスの位相整合波長に調整して、青色光(波長425nm)を発生した。青色光も斜面4で全反射し、光導波路3が形成された基板表面(S1)の反対面(S2)から10mWの青色光が得られた。光導波路型QPM-SHGデバイスでは、導波モードの基本波光と導波モードの高調波光が擬似的に位相整合するため、青色光は導波モードとして光導波路3を伝搬し、斜めに研磨された斜面4で全反射して、基板のS2表面方向にTEM00モードで出射された。本実施の形態では、基板のS2表面に高調波光、すなわち青色光(425nm)に対して、反射防止コート

を形成してあるため、青色光を高効率にS2表面から取り出すことができた。

【0096】このように光導波路3が形成された基板表面(S1)の反対面(S2)から出射した青色光を、コリメートレンズ9で平行光に変換し、対物レンズで集光して青色光の集光特性を評価した。S2表面から得られる青色光は、光導波路斜面4、すなわち全反射面を発光点として出射してMgドープLiNbO<sub>3</sub>基板1を透過し、コリメートレンズ9に導かれる。そのため、通常のコリメートレンズでは球面収差が発生してしまう。そこで、本実施の形態では、0.5mm厚のMgドープLiNbO<sub>3</sub>基板1を透過した青色光に対して、収差が最小になるように設計されたコリメートレンズ9を用いた。コリメートレンズ9の開口数としてはNA=0.06、対物レンズとしてはNA=0.6を用いた。集光スポットを確認したところ、半値全幅で0.4μmであり、ほぼ回折限界の集光スポットを得ることができた。

【0097】なお、本実施の形態においては、光導波路デバイスとして0.5mm厚のMgドープLiNbO<sub>3</sub>基板1に光導波路型QPM-SHGデバイスを作製したが、基板の厚みが0.3mmより薄い場合には基板のハ

ンドリングが困難であり、プロセス後の歩留まりが悪くなる。また、1.0mmより厚い基板を用いた光導波路デバイスにおいては、集光スポットにおいて非点収差が大きく発生し、光ディスクのシステムで許容される収差量よりも大きくなる。そのため、基板の光導波路が形成された表面(S1)の反対面S2から導波光を取り出す構成においては、基板厚みが0.3mm以上1.0mm以下であるのが好ましい。

【0098】また、本実施の形態では端面が光導波路に対して45度になるように研磨を行ったが、光導波路に対して45度以外の角度で端面を形成すると、集光スポットにコマ収差が発生する。光ディスクのシステムで許容される収差量以内に抑制するためには、光導波路に対して45度±1度で斜面を形成する必要がある。

【0099】また、本実施の形態においては、光導波路デバイスとして波長変換デバイスである光導波路型QPM-SHGデバイス100を用いており、波長変換により得られる高調波光が導波モードである。チェレンコフ光のような放射モードで得られる場合には、基板が薄くなると基板表面でも反射が生じるので、端面(斜面)によって全反射を生じさせるためには、ある程度の基板厚みが必要となる。本実施の形態では高調波光が導波モードで得られるため、基板を薄くすることができ、非点収差などの発生も抑制することができる。また、光導波路3が形成されている基板表面(S1)に、斜めの溝などを形成して端面(斜面)を形成することができるため、導波モードであることの効果は大きい。詳細については、実施の形態3で説明する。

【0100】さらに、本実施の形態では、結合レンズを用いて波長可変DBR半導体レーザ5の光を光導波路3に結合した。上述したように、斜面4を光導波路に対して略45度に形成することにより、導波光が斜面4にて全反射するため、斜面4での反射戻り光が生じない。また、入射端面についても反射防止コートを形成することで、戻り光ノイズが生じないようにすることができる。

【0101】一方、結合レンズを用いない直接結合方式においては、入射端面の戻り光が問題とならない。この直接結合方式では、半導体レーザの出射端面と光導波路デバイスの入射端面の距離を数μm程度(例えば0μm以上、かつ、10μm以下程度)にして実装される。

【0102】図3に、本実施の形態における直接結合型の光源モジュールの構成を示す。このコヒーレント光源(SHG青色レーザ)300においては、波長可変DBR半導体レーザ5と光導波路型QPM-SHGデバイス100を、波長可変DBR半導体レーザ5の活性領域6側の表面および光導波路型QPM-SHGデバイス100の光導波路3側の表面がサブマウント24に接するようにして実装される。サブマウント24上には、活性領域6およびDBR領域7に電流を注入するために、それぞれ独立した電極(図示せず)を形成してある。半導体

レーザ5の出射端面と光導波路の入射端面の距離は3  $\mu$  mに設定して、光結合調整を行った。厚み方向の調整は、光導波路上に形成した保護膜29の厚みにより行った。このときの光結合効率は、レンズを用いて結合した場合とほぼ同程度のものが得られた。この直接結合型モジュールでは、半導体レーザの出射端面と光導波路デバイスの光導波路の入射端面との間の距離が短いので、光導波路の入射端面からの反射光が半導体レーザへの戻り光ノイズとして作用せず、半導体レーザの出射端面と同様に作用する。そのため、本実施の形態のように出射端面4を45度に形成することによって、半導体レーザ光は光導波路3を導波して端面(斜面)4にて全反射し、斜面4から半導体レーザへの反射戻り光は生じない。その結果、光導波路3中を導波した半導体レーザ光は、波長変換により青色光に変換され、基板のS2表面方向からTEM00モードで安定して得ることができた。このような直接結合型モジュールは、特にその実用的効果が大きい。

【0103】さらに、本実施の形態では、半導体レーザとして波長可変型の半導体レーザを用いているため、光導波路デバイスとして波長変換デバイス100を用いたときに安定して高調波光出力を得ることができる。この波長可変機能としては、反射型グレーティングやバンドパスフィルタなどが考えられる。本実施の形態のように、波長可変機能が集積化された波長可変DBR半導体レーザ5を半導体レーザとして用いることにより、モジュールの小型化も実現可能であるため、光ディスク記録再生装置やレーザプリンタなどの応用機器に適応した場合に、その効果は大きい。

【0104】図3に示した直接結合型の光モジュール(コヒーレント光源)300を搭載した、本実施の形態における光ピックアップの概略構成を図4に示す。この光ピックアップ400において、SHG青色レーザ集積化ユニット300の基板のS2表面方向から得られた青色光は、コリメートレンズ9により平行光に変換され、偏光ビームスプリッタ10(PBS)および1/4波長板11を透過後、立ち上げミラーで反射され、対物レンズ12により光ディスク95上に集光される。光ディスク95からの反射光は、同じ光路を通過して、PBS10で反射されて90度回転し、検出レンズ系13(検出レンズ、シリンダリカルレンズ)とフォトディテクタ(PD)14に導かれる。そして、PD14により、サーボ信号と再生信号が検出される。本実施の形態の光導波路デバイス100を用いたコヒーレント光源(モジュール)では、モジュールの光軸に対して垂直方向に青色光を出射することができるため、従来例に示した構成よりもコンパクトな構成の光ピックアップ400を実現することができた。

【0105】また、本実施の形態の光ピックアップ400では、PD14上の再生光量の変動が観測されない。

これは、本実施の形態では斜面4が光導波路3に対して斜め方向になっているので、斜面4からの反射光が光ディスク上に導かれることがないためである。しかしながら、ディスクチルトとフォーカスずれが同時に生じたときには、光ディスク面からの反射戻り光が光導波路3の斜面4からわずかにずれた位置に帰還する。このため、光導波路型QPM-SHGデバイスを構成する基板1のS1表面で戻り光が再反射されて光導波路を出射する光との間に干渉効果を生じる。そこで、本実施の形態では、光導波路型QPM-SHGデバイスの光導波路3が形成された基板1のS1表面上に、第2高調波光、すなわち青色光(波長425nm)に対する無反射部として反射防止コートを実施した。例えば反射率0.1%程度の反射防止コートを形成したところ、1%以下に干渉効果を低減することができた。

【0106】ここで、本実施の形態の変形例を図1Bに示す。図1Bは、光導波路型QPM-SHGデバイス150の概略構成を示す断面図である。図1Aに示される光導波路デバイス100では、基板1の一方の端面全体が斜面に形成されているのに対し、図1Bで示される光導波路デバイス150では、基板1の一方の端面の一部のみが斜面に形成される。

【0107】光導波路デバイス150において光導波路3の入射端面110とは反対側の端面120側が光導波路3に対して斜めに傾いており(斜面4)、光導波路の導波光がその斜面4において全反射し、基板1の光導波路3が形成された表面S1の反対側の表面S2から導波光を出射される。

【0108】ここでは、MgドープLiNbO<sub>3</sub>基板1上に周期的分極反転領域2とプロトン交換光導波路3が形成され、光導波路3の入射側110とは反対側120において、光導波路3の方向(Y軸方向)に対して斜めに傾いた斜面4が形成されている。波長変換により得られた高調波光は、光導波路を伝搬し、斜面4において全反射して表面S2から出射する。

【0109】本実施例においては斜面4と表面S1は45度の角をなしている。斜面4で全反射した高調波光がS2から出射する際、斜面4と表面S1との交線L1と、端面120と表面S2との交線L2とを含む面130と、高調波として出射される導波光の出射方向との角度 $\theta$ が、高調波光の広がり角 $\theta_1$ の半分に対して十分な角度を有していないと、高調波光は120面に衝突する。具体的には、図1Bの広がり角 $\theta_1$ と、面130と出射方向のなす角 $\theta$ が

$$\theta_1/2 < \theta$$

の関係を満たすように斜面4を形成することにより、得られる高調波光が端面120に衝突するとなく、良好なビームとして取り出すことができる。広がり角 $\theta_1$ としては、強度がピーク強度に対して $1/e^2$ 以下になる幅を設定することが望ましい。

【0110】（実施の形態2）本実施の形態2では、光導波路デバイスにおいて、光導波路の入射端面とは反対側の端面が光導波路に対して斜めに傾いており、光導波路の導波光がその斜面において全反射し、基板の光導波路が形成された表面S1から導波光を取り出す構成について説明する。

【0111】図5は、本実施の形態2における光導波路型QPM-SHGデバイス500の概略構成を示す斜視図である。ここでは、MgドープLiNbO<sub>3</sub>基板15の表面S1上に周期的分極反転領域16とプロトン交換光導波路17が形成され、光導波路16の入射側とは反対側の端面18が光導波路3に対して斜めに傾いた斜面になっている。

【0112】この光導波路デバイス500は、以下のようにして作製した。両面を光学研磨した厚み0.5mmのMgドープLiNbO<sub>3</sub>基板15の+X面（S1）に、実施の形態1と同様の方法により周期的分極反転領域16とプロトン交換光導波路17を形成した。入射端面は垂直に研磨し、端面18は光導波路17に対して45度になるように光学研磨した。実施の形態1の光導波路デバイス100では、光導波路3が形成された表面（S1）の反対面（S2）側に45度の頂角が形成されるように端面研磨を行ったが、本実施の形態の光導波路デバイス500では光導波路17が形成された表面（S1）側に45度の頂角が形成されるように端面研磨を行った。端面18の研磨は、光導波路型QPM-SHGデバイス500を研磨ジグに45度の角度をもたせて固定し、通常の光学研磨により行った。研磨後、端面の反射防止コーティングを行った。入射端面には、基本波光である波長850nmに対して反射防止コート形成した。反射防止コートの反射特性は0.02%であった。また、MgドープLiNbO<sub>3</sub>基板15の屈折率は2.2程度であり、端面（斜面）18では全反射が生じるため、端面18には何もコーティングを行わなかった。光導波路17が形成された基板の表面（S1）には、基本波光である波長850nmに対する無反射部として反射防止コートを形成した。本実施の形態では、光が端面18で全反射したすぐ直後に基板表面（S1）に到達するため、基本波に対する反射防止コートを形成しない場合には、基板表面（S1）で反射が生じて再び光導波路17を伝搬する。そのため、半導体レーザを基本波とした構成では、戻り光ノイズとなって半導体レーザの縦モード状態が劣化する。

【0113】このようにして得られた光導波路型QPM-SHGデバイス500を用いて図6に示すようなコヒーレント光源600を構成し、その特性を評価した。基本波としては、AlGaAs系の波長可変DBR半導体レーザ19を用い、レンズ22を用いて光結合を行った。その結果、半導体レーザ出力100mWに対して45mWの半導体レーザ光が、光導波路17が形成された

基板表面（S1）から得られた。導波損失を1dB、基板表面の反射損失（425nmに対する反射防止コートが形成されているため）を10%程度とすると、60mW程度の半導体レーザ光が光導波路内に結合したものと考えられる。

【0114】本実施の形態の構成では、従来のように出射端面を垂直に研磨したサンプルと同様、基板表面S1での反射光が半導体レーザに帰還するため、基板S1表面にも850nmに対する反射防止コートを形成した。その反射率は0.02%とした。よって、両面からの反射光量を0.05%以下に低減でき、良好な波長可変特性が得られた。

【0115】次に、波長可変DBR半導体レーザ19の発振波長を光導波路型QPM-SHGデバイス500の位相整合波長に調整して、青色光を発生した。青色光も端面18で全反射し、光導波路17が形成された基板表面（S1）から10mWの青色光が得られた。光導波路型QPM-SHGデバイス500では、導波モードの基本波光と導波モードの高調波光が擬似的に位相整合するため、青色光は導波モードとして光導波路17を伝搬し、斜めに研磨された出射端面18で全反射して、基板表面方向に出射された。本実施の形態では、基板のS1表面に高調波光、すなわち青色光（425nm）に対して反射防止コートを形成してあるため、青色光を高効率にS1表面から取り出すことができた。

【0116】このように光導波路17が形成された基板表面（S1）から出射した青色光をコリメートレンズ23で平行光に変換し、対物レンズで集光して青色光の集光特性を評価した。実施の形態1では、青色光が基板の厚み方向に透過し、基板の厚みの違いによって球面収差の発生量が異なるため、基板の厚みを制御する必要がある。しかしながら、本実施の形態のように光導波路17が形成された基板表面（S1）から出射する構成では、コリメートレンズ23をあらかじめ設計することにより、基板の厚みに関係なく、青色光を収差の無い平行光に変換することができた。

【0117】本実施の形態においては、出射光が基板を透過しないので、実施の形態1の光導波路デバイス100のように集光スポットにコマ収差が発生することは無い。しかし、ビームを垂直に出射することによりコリメートレンズ等の光学部品を機械的に並べることができ、傾いて出射するとコリメートレンズ等で収差が発生するので、光ディスクのシステムで許容される収差量以内に抑制するためには、光導波路に対して45度±1度で端面を形成するのが好ましい。

【0118】なお、本実施の形態のように基板の表面S1から光を出射させる構成において、波長変換により得られる高調波光が導波モードであるのが好ましい。導波モード以外の放射モードでは、基板方向に放射するため、基板の厚みが必要であり、基板のS2面で反射され



てしまう。また、放射モードの光では、回折限界までの集光特性が困難であり、ディスク再生装置等に应用するのが困難である。

【0119】なお、本実施の形態では、結合レンズを用いて波長可変型半導体レーザの光を光導波路に結合した。しかしながら、実施の形態1でも説明したように、半導体レーザの光出射端面と光導波路の光入射端面との距離を数 $\mu\text{m}$ 程度（例えば $0\mu\text{m}$ 以上かつ $10\mu\text{m}$ 以下）にして、結合レンズを用いない直接結合方式にすれば、入射端面での戻り光によるノイズが生じない。

【0120】図7に、本実施の形態における直接結合型の光モジュール700の構成を示す。このコヒーレント光源を用いた集積化ユニット700においては、波長可変DBR半導体レーザ19と光導波路型QPM-SHGデバイス500を、活性領域21側の表面および光導波路17側の表面がサブマウント25に接するようにして実装した。サブマウント25上には、活性領域21およびDBR領域20に電流を注入するために、それぞれ独立した電極（図示せず）を形成してある。半導体レーザ19の出射端面と光導波路の入射端面の距離は $3\mu\text{m}$ に設定して、光結合調整を行った。厚み方向の調整は、光導波路上に形成した保護膜（図示せず）の厚みにより行った。このときの光結合効率は、レンズを用いて結合した場合とほぼ同程度のものが得られた。この直接結合型モジュール700では、半導体レーザ19の出射端面と光導波路デバイス500の光導波路の入射端面との間の距離が短いので、光導波路の入射端面からの反射光が半導体レーザへの戻り光ノイズとして作用せず、半導体レーザの出射端面と同様に作用する。

【0121】この構成においては、光導波路中を導波した半導体レーザ光は、波長変換により青色光に変換され、基板のS1表面方向からTEM00モードで得られる。よって、サブマウント25上に取り出し窓26を形成することにより、直接結合方式においてもS1表面から青色光を取り出すことができた。

【0122】さらに、本実施の形態では、半導体レーザとして波長可変型の半導体レーザを用いているため、光導波路デバイスとして波長変換デバイスを用いたときに安定して高調波光出力を得ることができる。本実施の形態のように、波長可変機能が集積化された波長可変DBR半導体レーザ19を半導体レーザとして用いることにより、モジュールの小型化も実現可能であるため、光ディスク記録再生装置やレーザプリンタなどの応用機器に適用した場合に、その効果は大きい。

【0123】また、本実施の形態においても、モジュールの光軸に対して垂直方向に青色光を出射することができるため、従来例に示す構成よりコンパクトな光ピックアップの構成を実現することができた。

【0124】また、本実施の形態のコヒーレント光源を搭載した光ピックアップについて、実施の形態1と同様

に再生信号を評価したところ、PD上の再生光量の変動が観測された。この変動は、通常の再生では問題とはならない程度であるが、反射防止膜を形成することにより、さらに良好な再生信号が得られる。さらに、本実施の形態では、光導波路型QPM-SHGデバイス500の光導波路が形成されたS1表面上に、半導体レーザからの基本波光（波長 $850\text{nm}$ ）および第2高調波光、すなわち青色光（波長 $425\text{nm}$ ）に対する多層膜の反射防止コートを形成することにより、波長 $850\text{nm}$ および波長 $425\text{nm}$ に対して反射率が0.1%程度の反射防止コートが得られ、1%以下に干渉効果を低減することができる。

【0125】（実施の形態3）上述したように、光導波路デバイスの光導波路の端面に全反射角を有する斜面を形成することで、光導波路デバイスの導波光を有効に取り出すことができる。また、この光導波路デバイスを半導体レーザとモジュール化することで、光源の小型化および出射光の安定化を図ることができ、さらに半導体レーザへの端面からの戻り光も低減することができる。しかしながら、光導波路の端面に全反射角を形成する場合には、光学研磨による方法が必要となるため、大量に素子を製造する量産工程においてはコスト削減に対して課題を有する。そこで、本実施の形態では、量産化が容易なウェハプロセスに適用可能な光導波路デバイスの構成について提案する。

【0126】図8は本実施の形態における光導波路デバイス800の概略構成を示す斜視図である。ここでは、基板30上に光導波路31が形成され、その光導波路31が形成されている基板30の表面（S1）に凹部32が形成されている。凹部32は、光導波路31にほぼ直交する方向にストライプ状に形成され、凹部32の側面32aは導波光が全反射する角度に形成されている。光導波路31を伝搬する光は凹部32の側面32aで反射され、基板30の裏面（S2）から出射される。

【0127】この光導波路デバイス800は、例えば以下のようにして作製することができる。量産化を容易にするために、凹部の形成には半導体プロセスで用いられているエッチングプロセスを利用する。ここでは、イオンビームミリング装置を用いた傾斜エッチングにより凹部を形成した例について述べる。基板30としては、 $\text{LiNbO}_3$ 基板を用いた。この $\text{LiNbO}_3$ 基板は、プロトン交換により低損失の光導波路を容易に形成することができる。

【0128】反応性ガスを用いたイオンビームミリング装置は、エッチングの選択性および方位性が高いため、傾斜面を有するエッチング断面を形成することができる。作製プロセスとしては、まず、Cr膜を基板30に堆積し、フォトリソグラフィ法により凹部32のCr膜を除去してエッチング遮蔽マスクとする。これをマスクとして反応性ガスを用いた反応性イオンビームミリン

10

20

30

40

50

グ装置により基板をエッチングすることにより、凹部32を形成した。このとき、ミリング装置におけるイオンビームの出射方向に対して基板30を傾けることにより、エッチング側面(凹部の側面32a)を基板に対して斜めに形成することができた。反応性ガスとして $C_3F_8$ を用いることにより、Cr膜と $LiNbO_3$ 基板30の選択比の向上を図ることができ、基板30表面(S1)に対して45度の側面32aを有する凹部32を形成することができた。本実施の形態では、3インチウェハ全体に渡って所望の凹部を一括プロセスにより形成することができ、これによって量産化が可能となった。このようにエッチングにより凹部加工を行うと、ウェハプロセスが容易になるのに加え、凹部の形状、位置精度、凹部の深さ等の精密な制御が可能となり、後述するような構成を実現するのに有効である。

【0129】なお、凹部32を形成する方法としては、その他に、ダイシングによる方法もあり、研削切断が可能なブレードによって凹部32を形成することができる。例えば面荒さ#6000のブレードを用いれば、光学研磨に近い断面を形成することができる。また、ブレードの形状を断面45°に加工し、これにより光導波路の厚み以上の深さ、例えば5 $\mu m$ 程度の切り込みを光導波路表面近傍に形成することで、光導波路を全反射する凹部の形成が可能となる。なお、ダイシングを用いた場合には、凹部の側面形状の加工は容易であるが、精密なV字加工を行うためには先鋭なブレード形状を必要とし、ブレードの消耗が激しくなる。従って、側面のみ45度の鏡面を形成し、底面に関しては形状を問わない方法が適している。光導波路31は表面から数 $\mu m$ 程度にしか存在しないため、ダイシングの深さを10 $\mu m$ 程度にとれば、凹部32の底部の影響を受けることなく、必要な全反射角を形成することができた。このようにダイシングによって反射端面を形成する場合には、フォトリソグラフィやエッチング等の工程が不要となるため、作製工程の単純化および短時間化を図ることができる。また、ダイシングを10 $\mu m$ 程度しか行わないことで鏡面加工が容易になり、ブレードの消耗も少なく、歩留まりの高い加工が容易になった。

【0130】本実施の形態においても、実施の形態1と同様に、光導波路に対して45度以外の角度で凹部の側面を形成すると、集光スポットにコマ収差が発生した。光ディスクのシステムで許容される収差量以内に抑制するためには、光導波路に対して45度 $\pm$ 1度で凹部の側面を形成する必要があった。

【0131】次に、光波長変換機能を有する光導波路デバイスに上記構成を適用する場合について、検討を行った。周期状の分極反転構造に光導波路を形成することにより光導波路デバイスを構成することができ、基板として非線形性の高いMgドープ $LiNbO_3$ 基板を用いることにより、高効率の光波長変換素子を構成することが

できる。例えば、基本波として850nmの波長の赤外光を入射すると、425nmの青色光を出射することができる。この青色光を出射するために、従来の光導波路端面から取り出す構成に代えて、本願発明で提案している光導波路に形成した全反射面(斜面)から取り出す構成を用いた。ここでの構成上のポイントは、光導波路に形成した全反射面を利用して基本波と高調波の波長分離が可能となる点である。

【0132】図9Aは本実施の形態における光波長変換機能を有する光導波路デバイス900の概略構成を示す断面図である。ここでは、Mgドープ $LiNbO_3$ 基板33の表面近傍に周期3.2 $\mu m$ の周期的分極反転領域34を有する光導波路35が形成されている。そして、光導波路35が形成されている基板表面近傍に凹部36が形成されている。

【0133】この光導波路35において、導波路光として伝搬する基本波は、実施の形態1および実施の形態2と同様に、導波光として伝搬する高調波へと変換される。そして、高調波が凹部36の側面36aによって全反射することで、Mgドープ $LiNbO_3$ 基板33の裏面(S2)から高調波を取り出すことが可能となる。よって、導波モードとして伝搬している高調波は、上記構成により効率よく外部へ出力することが可能となる。さらに、この構成では、導波モードのプロファイルの違いから、凹部36を用いた波長分離が可能となる。光導波路35を伝搬する基本波と高調波は、波長および屈折率分散の関係から、異なる電界分布を有している。例えば、プロトン交換層をアニールして形成した光導波路においては、基本波モードプロファイルの深さ方向広がり(基本波光の導波モードの深さ $t_1$ )は約2.5~3 $\mu m$ 程度であり、この基本波に対して発生した高調波のモードプロファイルの深さ方向広がり(第2高調波光の導波モードの深さ $t_2$ )は基本波の約半分程度である。この特性を利用すれば、光導波路35に形成した凹部36によって波長分離が可能となる。エッチングにより形成した凹部は、上述したように、形状を精密に制御することができる。特に、イオンビームミリングによる方法は、高い精度と量産性を有するため、本実施の形態の光導波路デバイス900構造の作製に有効に用いることができる。この方法により、例えば、凹部36の深さ $t$ を $t_2 < t < t_1$ 、例えば $t = 1.5 \mu m$ 程度に形成すると、高調波を凹部36で全反射して外部に取り出すことができ、同時に、基本波はその大半を凹部36を通過して光導波路35をそのまま伝搬させることができる。これによって、凹部36を通過する基本波を外部で検出し、基本波の出力特性をモニターすることができる。さらに、出射する高調波に混じる基本波の出力を低減することが容易になる。

【0134】さらに、光導波路構造としては、光導波路表面に高屈折率クラッド層を有する構成を用いるのが有



効である。図9Bに、高屈折率クラッド層を設けた光導波路デバイス950を示す。高屈折率クラッド層46は、光導波路35よりも高い屈折率を有するクラッド層を光導波路上に形成することで構成される。例えば、LiNbO<sub>3</sub>基板上にプロトン交換とアニール処理を行うことにより光導波路35を形成し（アニール処理により屈折率は基板に近くなる）、さらにプロトン交換を行うことで高屈折率クラッド層46を形成することができる。クラッド層46の厚みが、光導波路35を伝搬する基本波に対してカットオフ条件（クラッド層の厚みを薄くすることにより導波モードで伝搬できなくなり、放射モードになる条件）を満足することで、基本波の光導波路内への閉じ込めを強化しつつ、基本波がクラッド層46に閉じこもるのを防止することができる。この結果、基本波は光導波路内に強く閉じ込められてその中を伝搬し、パワー密度の向上を図ることができるため、変換効率の向上が可能となる。同時に、高効率クラッド層構造とすることにより、高調波に対しても、光導波路内への光閉じ込めを強化することができる。この結果、高調波の伝搬モードの深さは、高効率クラッド層を形成しない場合に比べて80%以下に減少する。従って、基板表面近傍に形成する凹部の深さをより小さくすることが設定できる。なお、エッチングにより凹部を形成する際には1μm以上の深いエッチングを行う必要があるが、基板表面に45度の側面を1μm以上の深さに渡って形成するには選択性の高いマスク材料が必要となる。さらに、深いエッチングを行うと、エッチング側面に荒れが発生して反射面の反射率が低下し、反射光の波面の揺らぎによって出射光の集光特性が劣化するという問題が生じた。これに対して、高屈折率クラッド構造を有する光導波路を用いることで、必要となる凹部の深さを20%低減することが可能となり、エッチング特性の改善および凹部の側面の面荒れを大幅に低減することが可能となった。

【0135】ここで、図9Cを参照して、本実施の形態における好ましい光導波路デバイスを説明する。図9Cは、光導波路デバイス970の概略構成を示す断面図である。ここでは、MgドープLiNbO<sub>3</sub>基板33上に光導波路35と周期的分極反転領域34が形成され、その光導波路35が形成されている基板の表面（S1）に凹部36が形成されている。凹部36は、光導波路にはほぼ直交する方向にストライプ状に形成され、凹部36の側面36aは導波光が全反射する角度に形成されている。光導波路35を伝搬する光は凹部の側面36aで反射され、基板の裏面（S2）から出射される。

【0136】光導波路デバイス970においては、側面36aと表面S1は45度の角をなしている。側面36aで全反射した高調波光がS2から出射する際、斜面36aと表面S1との交線L1と、基板の端面920と基板の表面S2との交線L2とを含む面930と、高調波

光の出射方向との角度θが、高調波光の広がり角θ1の半分に対して十分な大きな角度を有していないと、高調波光は端面920に衝突する。具体的には、図9Cの広がり角θ1と、面930と出射方向のなす角θが $\theta_1/2 < \theta$

の関係を満たすように斜面36aを形成することにより、得られる高調波光が端面920に衝突することなく、良好なビームとして取り出すことができる。広がり角θ1として、強度がピーク強度に対して $1/e^2$ 以下になる幅に設定することが望ましい。

【0137】図9Dは、光導波路型QPM-SHGデバイス980の概略構成を示す断面図である。ここでは、MgドープLiNbO<sub>3</sub>基板33上に周期的分極反転領域34とプロトン交換光導波路35が形成され、光導波路デバイス980の入射端面910とは反対端面920において、光導波路35に対して斜めに傾いた斜面940が形成されている。波長変換により得られた高調波光は、光導波路を伝搬し、斜面940において全反射して表面S2から出射する。

【0138】図9Dの光導波路型QPM-SHGデバイス980と波長可変DBR半導体レーザから構成されるコヒーレント光源を光ディスク記録再生装置に应用する際には、斜面940で反射し表面S2から出射した高調波光は、コリメートレンズで平行光に変換された後、対物レンズにより光ディスク上に集光される。光ディスク記録再生装置などに应用する場合、その集光特性は再生特性に大きく影響し、波面収差の小さなコヒーレント光が望まれる。

【0139】周期的分極反転領域34が形成されたMgドープLiNbO<sub>3</sub>基板33では、反転された部分と基板とでは、ウェットエッチングするときのエッチングレートが異なる。そのため、斜面940を形成する際、機械加工などを用いる場合は問題とならないが、研磨加工する場合には研磨剤により化学エッチングが生じることがあり、分極反転部分と基板部分で凹凸が形成されてしまう。凹凸が生じると、斜面940で反射した高調波光に収差が生じるため、対物レンズによる集光特性を劣化させる。

【0140】出射端面部まで周期的分極反転が形成されていると、反転の周期が3μm程度であり、反転されていないところが端面部になるように調整することは困難であるため、本実施例の図9Dの構成では、斜面940付近において、周期的分極反転領域34が形成されていない。そのため、研磨加工においても、凹凸が生じることなく、鏡面に仕上げるのが可能となる。

【0141】次に、光導波路デバイスを半導体レーザと一体化するための検討を行った。導波路型光デバイスとしての光波長変換素子を半導体レーザと一体化する方法については、プレーナ結合によるモジュール化が従来から検討されている。

【0142】図10は、本実施の形態における光導波路デバイス39を用いたプレーナ結合モジュール光源（コヒーレント光源）1000の概略構成を示す断面図である。ここでは、Si等からなるサブマウント37上に波長可変DBR半導体レーザ38と光導波路デバイス39とが固定されている。このとき、波長可変DBR半導体レーザ38および光導波路デバイス39と共に、光導波路をサブマウント37の表面に密着させることにより、光導波路の深さ方向の精度を向上することができる。さらに、光導波路デバイス39の光導波路上に形成した凹部40の側面40aにより反射された光は、MgドープLiNbO<sub>3</sub>基板41の光導波路が形成されている表面S1とは反対側の表面S2、即ちモジュールの上面へと出射される。このようにプレーナ型モジュールを形成する場合には、光導波路の表面に保護膜42が必要不可欠である。その理由としては、サブマウント37と光導波路の接触により光導波路の伝搬損失が大幅に増大することが挙げられる。これを防止するためには、厚み100nm以上の保護膜が必要である。さらに、半導体レーザの活性領域と導波路型光デバイスの光導波路の高さ方向を精度良く合わせるためにも、保護膜が必要である。保護膜42の膜厚は、サブミクロン以下の精度で制御することが可能である。

【0143】しかしながら、この保護膜42を基板の表面と凹部全体に堆積した場合には、その保護膜の屈折率によっては、凹部の反射率が低下する。例えば、凹部40の側面40aと光導波路とがなす角度（ $\theta$ ）が45度の場合に全反射条件を満足するのは、光導波路の実効屈折率 $n_2$ とし、保護膜の屈折率 $n_1$ とすると、スネルの法則より、 $n_1/n_2 < \sin(45^\circ) \approx 0.7$ のときである。本実施の形態のように、基板としてMgドープLiNbO<sub>3</sub>基板41を用いた場合には、光導波路の屈折率 $n_2 = 2.2$ 程度であるから、保護膜42としては $n_1 = 1.54$ 以下の屈折率を有する材料を用いることが必要である。しかしながら、フォトリソグラフィ法等により凹部のみ選択的に保護膜を除去することで、全反射面への保護膜の影響を排除することが可能になる。

【0144】さらに、保護膜または全反射面に選択的に堆積する膜によって、導波光を基本波光と高調波光に分離することが可能となる。例えば、MgドープLiNbO<sub>3</sub>基板41に形成した光導波路の屈折率 $n_{f1}$ は波長850nmの基本波に対しては2.2程度であり、波長425nmの高調波に対しては光導波路の屈折率 $n_{f2}$ は2.4程度である。従って、全反射条件を満足する保護膜の屈折率は、 $n_{c2}/n_{f2} < \sin(\theta) < n_{c1}/n_{f1}$ から、基本波に対しては $n_{c1} = 1.54$ 以下であり、高調波に対しては $n_{c2} = 1.70$ 以下である。そこで、1.54～1.7の屈折率を有する材料を用いて膜厚を適当な値にとれば、高調波に対してのみ全反射条件を満足する屈折率を有する膜とすることが可能である。例

えば、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiN<sub>x</sub>等、多くの材料を使用することができる。さらに、多層膜を用いれば、基本波と高調波を完全に分離することも可能になる。

【0145】光波長変換を行う光導波路デバイスを用いたコヒーレント光源においては、高調波成分を有効に取り出すと同時に、基本波の出力をモニターすることにより光量を安定させることが重要である。よって、基本波と高調波の波長分離が可能になれば、基本波をモニターする機構を集積化することもできる。また、外部に出力する高調波に混じる基本波成分を低減することが可能となり、波長分離フィルターが必要無くなるという利点もある。

【0146】次に、本発明による光導波路デバイスと半導体レーザとを備えたコヒーレント光源（光源モジュール）を応用する場合について説明する。光ディスク記録再生装置や光情報処理装置等にモジュール光源を応用する場合には、情報処理に用いた光を検出する機能を集積化することが有用である。例えば、光ディスク記録再生装置に利用される半導体レーザにおいては、光ディスクから反射された光を半導体レーザに隣接して設けられたフォトディテクタ（光検出器）により検出することで信号を読みとっている。この集積化によって、光学系の単純化、組立精度の許容度拡大やコスト削減等が可能となる。

【0147】本発明による光導波路デバイスは、出射光を基板の表面方向から取り出すことが可能であるため、光検出機能を集積化することが容易になる。すなわち、光の出射面近傍に、光検出器を容易に集積化することができる。但し、この場合には、光導波路からの漏れ光が導波路の周辺部に集積化した検出器に入力して、信号検出特性が劣化するという問題が生じる。例えば、光波長変換機能を有する光導波路デバイスの場合には、数10mWの基本波から10mW程度の高調波を発生する。この場合、基本波の漏れ光は10mW近くになり、検出される高調波（光ディスクから反射されて光学系を介して戻ってくる光）よりも大きくなるため、信号検出特性の劣化が激しかった。これを防ぐためには、光導波路からの漏れ光を検出器から遮断する必要がある。

【0148】本実施の形態3の光導波路デバイスでは、光導波路に設けた凹部で反射された光を導波路の裏面から取り出すため、導波路からの漏れ光と取り出される光との分離が非常に簡単になる。すなわち、光導波路上に設けた凹部で反射される光が透過する基板裏面の周辺を除く部分を、基本波および高調波を吸収する膜で被うことにより、漏れ光を完全に遮断することが可能となった。本願発明者は、基板の凹部が形成されている部分の裏面と光入射端面を保護レジストで覆った後、基板全体に光吸収膜を蒸着し、凹部の裏面と光入射端面を覆った保護レジストと共にその部分の光吸収膜を除去することにより、光導波路デバイスを製造した。この光導波路デ

バイスを用いることにより、光検出器への漏れ光を完全に防止することが可能であった。

【0149】なお、光吸収膜の代わりに金属膜等の光反射性を有する膜を用いて漏れ光を防ぐことも可能である。

【0150】さらに、本実施の形態では、V溝を形成して凹部の反射面とS1（基板表面）が鈍角（ $>90^\circ$ ）をなすようにしたが、切り込み部等を形成して反射面とS1とが鋭角をなすようにしてもよい。この場合、S1から光が出射し、実施の形態2と同様の効果が得られる。

【0151】ところで、上述したように、光源モジュールを光ピックアップ等の光学系に用いる場合には、出射ビームの光路中にホログラム等の回折格子を設置して種々の信号検出を行うことが一般的に行われている。この具体的な例については後述する実施形態4に述べるが、このように回折格子を用いた光学系に本発明のコヒーレント光源を適用する場合には、図11のコヒーレント光源1100に示すように、凹形状パッケージ72を封止する透明基板71上に回折格子74を設けてもよい。この場合、回折格子を個別部品として設置していた従来の光学系に比べて部品点数の少ない光学系を実現することができる。なお、図11において、75は光導波路デバイス、76はサブマウント、77は半導体レーザを示す。

【0152】（実施の形態4）本実施の形態では、光導波路デバイスおよび半導体レーザを有するコヒーレント光源と、光検出器とコヒーレント光源とを同一サブマウント上に集積化した集積化ユニット、および集積化ユニットを用いた光ピックアップについて説明する。

【0153】図12は、本実施の形態の光ディスクピックアップ光学系1200の概略構成を示す斜視図である。この光ピックアップ1200は、光ディスクピックアップ用の集積化ユニットと、集光光学系としてのホログラム53および対物レンズ53aを備えている。集積化ユニットは、実施の形態において図1Aに示した光導波路が形成された基板表面の反対側のS2表面から光を取り出す構成の光導波路デバイス（QPM-SHGデバイス）50と、波長可変DBR半導体レーザ56とを有する光源モジュールと、光検出器とが同一サブマウント55上に配置されている。光導波路デバイス50の表面S2上に回折格子51が形成される。光源モジュール50、56の両側にシリコン基板57が設けられ、シリコン基板57の各々の上に、中央部分と周辺部分とを有しているフォーカス用光検出器52と、フォーカス用光検出器52の両側に回折格子51の格子縞に対して垂直な方向に2つのトラッキング用光検出器54と、が配置されている。

【0154】この光ピックアップ1200において、光導波路の斜面で反射された光は、光導波路デバイス50

のS2面上に形成された回折格子51によって0次および±1次の3つのビームに分割される。このうち、0次光は光ディスク95上の対象トラックを照射し、その反射光をフォーカス用光検出器52が受光してRF信号が検出される。また、光ディスク95からの反射光がホログラム53によって回折される際に、ホログラム53のレンズ作用によって一方のフォーカス用光検出器52上には合焦前の光スポットが形成され、他方のフォーカス用光検出器52上には合焦後の光スポットが形成されるため、いわゆるSSD（スポットサイズディテクション）法によるフォーカス誤差信号を得ることができる。一方、回折格子51で生じた±1次光は、いわゆる3ビームトラッキング法によってトラッキング誤差信号を検出するためのサブビームとなり、トラッキング用光検出器54で検出される。このトラッキング用光検出器54の差動出力信号からトラッキング誤差信号が得られる。

【0155】図12に示した3ビームトラッキング法とSSD法による信号検出を組み合わせた光ディスクピックアップは、ホログラムを用いた信号検出が容易であるため、本発明による集積化ユニットが有効な光ディスクピックアップの構成である。特に、3ビームトラッキング法では、光源に近接した位置に回折格子を設置するため、光導波路デバイスの基板表面に回折格子を配置可能な本発明の集積化ユニット50、51、52、54、55、56が有効である。ホログラムを用いた光ディスクピックアップに有効な他のサーボ信号検出方式として、位相差トラッキング方式や、ナイフエッジ法フォーカス検出方式があり、これら方式も本実施の形態に示した集積化ユニットを用いた光ディスクピックアップ1200に用いることができる。

【0156】本実施の形態において、サブマウント55としては厚さ500 $\mu$ mのシリコン結晶を用いた。サブマウント55上には予め位置決めマーカを設置し、光導波路デバイス50、波長可変DBR半導体レーザ56および光検出器（52、54）の順に顕微鏡下で位置合わせを行って固定した。本実施の形態では光導波路デバイス50から垂直方向に光が取り出される構成になっているため、波長可変DBR半導体レーザ56、光導波路デバイス50および光検出器（52、54）を全て同一サブマウント55上に配置して、効率よく組み立てることができた。光ディスクピックアップ光学系では、図12のように領域分割された光検出器上に精度良く反射光スポットを導く必要があり、光源と光検出器の相対的な位置合わせ精度が要求される。本実施の形態の光ピックアップでは、顕微鏡下で両者の位置合わせが可能であることに加え、光源と光検出器の位置が近接しているため、周囲温度の変化による相対位置変化がきわめて小さく、安定した光学系を実現することができるという効果を併せ持つ。また、半導体レーザ光源と光検出器とを同一基板上に配置する構成の光ピックアップ光学系は従来より

提案されているが、本実施の形態の光ピックアップでは光源が半導体レーザと光導波路デバイスとから構成されており、これら両者間の位置合わせと光検出器の位置合わせを同一サブマウント上で完了することができるという、従来では得られない効果を得ることができる。

【0157】本実施の形態では、実施の形態1において説明した光導波路の端面（斜面）において光を全反射させて基板表面の反対側のS2表面から光を取り出す構成の光導波路デバイスを用いたコヒーレント光源と光検出器とを集積化した例について説明したが、実施の形態3

において説明した基板の表面近傍に設けた凹部において光を全反射させて基板表面の反対側のS2表面から光を取り出す構成の光導波路デバイスを用いたコヒーレント光源についても、同様に集積化ユニットを構成することが可能である。

【0158】（実施の形態5）本実施の形態では光検出器に入射する迷光成分を抑制した構成の集積化ユニットについて説明する。

【0159】図12に示した集積化ユニット1200の構成では、光検出器が1mm厚のシリコン基板57上に形成され、500 $\mu$ m厚の光導波路デバイス50の基板表面S2に比べてサブマウント55表面からの高さが高い位置に配置されているので、迷光成分による信号誤差が小さくなっている。すなわち、光導波路デバイス50の出射面S2で反射されたのち、光導波路基板内で多重反射して基板側面から出射された光が、光検出器の表面上には到達せず、この迷光による信号誤差が生じない構成となっている。この光導波路デバイス50の出射面S2には、基本波である850nmの光と波長変換された425nmの青色光に対して、反射率が共に0.1%である多層膜からなる反射防止コーティングが施されている。しかし、信号光がホログラムや回折格子で光量ロスを生じるのに加え、青色光に対して基本波光のレンズ作用が大きいので、わずかな反射光が大きな迷光を生じる。よって、図12に示した光ピックアップ1200の構成は、この迷光が光検出器表面に到達することを効果的に抑制する効果を有する。

【0160】同様の効果は、図13に示す集積化ユニット1300のように、シリコンからなるサブマウント58上に光検出器群59を形成し、サブマウント58上の光導波路デバイス60を設置する場所を凹形状部分にすることでも得ることができる。サブマウント58を凹形状に加工するためには、シリコン結晶の異方性エッチングを利用する方法が効果的であり、切削加工に比べて凹形状の底面部分の面精度を高く保つことができる。

【0161】また、図14に示す集積化ユニット1400のように、サブマウント64上に実装された光導波路デバイス60と光検出器62との間に、遮光物体63を配置することでも迷光が光検出器表面に到達するのを防ぐことができる。本実施の形態では、光導波路デバイス

60の側面にアルミ蒸着膜を施して遮光物体63とした。比較のために、アルミ蒸着膜を設けない構成を作製したところ、各光検出器の出力に大きな直流成分が重畳して十分な振幅のRF信号を検出することができなかった。この遮光物体は、光反射性を有する材料であっても、光吸収性を有する材料であってもよく、通常の光量では温度上昇は問題にならない。

【0162】また、実施の形態2で説明したSHG青色レーザと光検出器とを集積化した集積化ユニットにおいては、図15に示す光ピックアップ1500のように、光導波路デバイス60aと光検出器59aとがサブマウント25を介して反対側に配置される。図7で示したコヒーレント光源700のように、光導波路デバイスのS1面から青色光を得る光導波路デバイスの構成では、サブマウント25に取り出し窓26を形成する必要がある。この取り出し窓26から出射した青色光は、コリメートレンズ9で平行光に変換され、対物レンズ12により光ディスク95に集光される。この構成では、光導波路基板内で多重反射して発生する迷光は、取り出し窓26により遮断される。また、図15に示した光ピックアップ1500の構成では、サブマウント25において光導波路デバイス60aが実装されていない面に光検出器群59aが形成されている。そのため、上述のような遮光物体や凹形状の掘込み構造を設けることなく、迷光の影響を防ぐことができる。

【0163】（実施の形態6）次に、光導波路デバイスで生じる非点収差について、図16を参照しながら説明する。

【0164】実施の形態1において図1Aに示した光導波路デバイス100は、図16(c)に示すような軸構成のX板LiNbO<sub>3</sub>結晶を光導波路デバイスを構成する基板（光導波路基板）70として用いている。図16に示される光ピックアップ1600の光導波路基板70において、導波光は異常光として伝搬し、波長850nmの基本波が波長425nmの高調波に変換される。そして、光導波路の入射側とは反対側の端面（斜面）で直角に反射された光は、光導波路基板70中を発散ビームとして伝搬し、図16(a)に示す光線イロハニホのように様々な方向成分を有する光となる。このうち、光線イ、ロ、ホは異常光であるので基板の屈折率を $n_e$ と感じるのに対して、光線ハ、ニはわずかに常光であるため、屈折率 $n_o$ と感じる。LiNbO<sub>3</sub>結晶の異常光に対する屈折率は約2.2であるのに対して、常光に対する屈折率は約2.28と大きいので、光線ハ、ニは光線イ、ロ、ホに対して位相遅れが生じる。その結果、光導波路から出射される光ビームは、光導波路方向に平行な方向の曲率半径がより大きく、光導波路方向に垂直な方向の曲率半径がより小さい波面形状となり、コリメート後の波面は図のように非点収差成分を持つことになる。

【0165】図16(a)に示した封止板71は、凹形状パッケージ72を封止するために設けられたものであるが、上述の非点収差を低減する効果を有する。本実施の形態では、この封止板71としてZ板（基板に垂直な方向が結晶のZ軸である基板） $\text{LiNbO}_3$ 結晶を用い、その厚みは光導波路基板71と同じ $500\mu\text{m}$ とした。光導波路デバイスからの出射光は、封止板71中を発散ビームとして伝搬する。この際、光導波路基板70中を伝搬するときとは逆に、光線イ、ロ、ホは常光の屈折率 $n_o$ を感じるのに対して、光線ハ、ニはわずかに異常光の屈折率 $n_e$ を感じるため、光線ハ、ニは光線イ、ロ、ホに対して位相進みが生じる。この位相進みによって光導波路基板70での位相遅れが相殺され、封止板71を通過した光ビームは非点収差成分が除去された無収差の球面波となる。本願発明者らの実験では、封止板71にガラス板を用いた時には約 $15\text{m}\lambda$ の非点収差が観測されたのに対して、Z板 $\text{LiNbO}_3$ 基板を用いた時には非点収差成分を測定限界（約 $5\text{m}\lambda$ ）以下に抑えることができた。

【0166】または、図17に示す光ピックアップのように、封止板として円筒レンズ73形状の基板を用いて、図16と同様に非点収差成分を補正することもできる。本実施の形態では、基板としてコーニング社製#7059ガラスを用いた。この円筒形状の研磨加工には大きな費用がかかるため、図18に示すような階段状の断面形状によって円筒断面形状を近似した。実際には、フォトリソグラフィ法によるフォトレジストのパターニングとフッ酸によるエッチングを3回繰り返して、8レベル階段断面形状を形成した。図18に示したような階段状断面形状73aで円筒レンズを近似した構成でも、非点収差成分のない良好な出射波面が確認された。また、図17に示した例では、封止板としてガラスやプラスチックなどの安価な光学材料を用いることができるといふ利点がある。特に、量産過程においては射出成形プラスチック基板を用いることにより低コスト化を図ることができる。

【0167】本実施の形態では、非点収差を低減するために、パッケージを封止する封止板として、光導波路基板と光学軸が直交する第2の複屈折性光学結晶を用いたり、円筒レンズ形状とした例について説明したが、第2の複屈折性光学結晶や円筒レンズを光の光路上に別途設けてもよく、また、光導波路デバイスからの光が出射される基板表面(S2)を略円筒形状に加工してもよい。

【0168】なお、光導波路デバイスの導波路を形成した面(S1面)から光を取り出す構成の光源モジュールについても、図19の光ピックアップ1900に示すように、透明封止基板71上に回折格子74を形成して部品点数を削減することが可能である。この場合、サブマウント76および凹形状パッケージ72に開口部を設けてサブマウント76の裏面から光を取り出すことにな

る。この構成において、光検出器78と光導波路デバイス75を共にサブマウント76の開口部に対して位置合わせを行うことにより、光導波路デバイス75と光検出器78間の相対位置精度が確保される。

【0169】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、光導波路デバイスを構成する基板の第1の表面に設けられた光導波路の斜面において導波光が全反射し、その第1の表面または第2の表面から取り出すことができる。よって、この光導波路デバイスと半導体レーザとを組み合わせた本発明のコヒーレント光源は、半導体レーザへの戻り光を低減してノイズ特性を向上することができる。また、このコヒーレント光源を搭載した光ピックアップの小型化を実現することができ、その実用的効果は非常に大きい。

【0170】上記光導波路デバイスを構成する基板の厚みが $0.3\text{mm}$ 以上 $1.0\text{mm}$ 以下であれば、ハンドリングが容易で量産化に適しており、しかも集光スポットにおいて非点収差を光ディスクシステムで許容される収差量に抑えることができるので好ましい。

【0171】さらに、上記光導波路デバイスを構成する基板が非線形光学材料からなり、光導波路に入射した半導体レーザの基本波長が第2高調波長に波長変換され、第1の表面から光を出射する場合、第1の表面側に第2高調波長に対する反射防止コーティングを施すことにより、戻り光が第1の表面で再反射しないようにすることができる。よって、第1の表面で再反射された戻り光と導波路出射光との干渉による信号波形の劣化を防ぐことができる。

【0172】また、本発明によれば、光導波路デバイスを構成する基板の第1の表面に設けられた光導波路の斜面において導波光が全反射し、その第1の表面から取り出すことができる。よって、この光導波路デバイスと半導体レーザとを組み合わせた本発明のコヒーレント光源は、半導体レーザへの戻り光を低減してノイズ特性を向上することができる。また、このコヒーレント光源を搭載した光ピックアップの小型化を実現することができ、その実用的効果は非常に大きい。

【0173】さらに、光導波路デバイスを構成する基板が非線形光学材料からなり、光導波路に入射した半導体レーザの基本波長が第2高調波長に波長変換される場合、第1の表面側に基本波長に対する反射防止コーティングを施すことにより、基本波長が第1の表面で再反射しないようにすることができる。よって、第1の表面で再反射された光が導波路に戻るのを防ぐことができる。

【0174】上記光導波路デバイスにおいて、光導波路の斜面を光導波路に対して略 $45^\circ$ （ $45^\circ \pm 1^\circ$ ）の角度とすれば、集光スポットにコマ収差が発生しないので好ましい。

【0175】さらに、上記光導波路デバイスを構成する

基板が非線形光学材料からなり、光導波路に入射した半導体レーザの基本波長が第2高調波長に波長変換される場合、高調波長が導波モードであれば、放射モードに比べて基板を薄くし、非点収差等の抑制することができるので、好ましい。さらに、導波モードの場合には、第1の表面に凹部(溝)等を設けることにより、容易に端面(斜面)を形成することができるので、容易に量産化することができる。

【0176】上記光導波路デバイスにおいて、第1の表面近傍に光導波路とほぼ直交するように凹部または切り込み部を形成することにより、この凹部や切り込み部の一部分(例えば側面)を光導波路の斜面とすることもできる。この場合、半導体プロセスで用いられるエッチング等により容易に斜面を形成することができ、量産工程によるコスト削減を図ることができる。

【0177】光導波路が形成された基板の第1の表面側をサブマウントに配置する場合、凹部を除く基板の第1の表面に保護層を設ければ、保護層の屈折率が全反射面に影響を与えるのを防ぐことができる。

【0178】基板の第1の表面に保護層を設けた場合、保護層の屈折率 $n_1$ と、光導波路を導波する光に対する光導波路の実効屈折率 $n_2$ と、第1の表面と凹部側面(斜面)の法線がなす角 $\theta$ とが、

$$\sin(\theta) > n_1 / n_2$$

の関係を満たしていれば、凹部側面(光導波路の斜面)での全反射条件を満足させることができる。

【0179】さらに、光導波路を導波する基本波長の導波モードの深さ $t_1$ と、光導波路を導波する第2高調波長の導波モードの深さ $t_2$ と、凹部の深さ $t$ とを、

$$t_2 < t < t_1$$

の関係を満たすようにすれば、凹部において高調波は全反射され、基本波は凹部を通過するので、高調波と基本波とを波長分離することができる。または、保護層の基本波長に対する屈折率 $n_{c1}$ と、保護層の第2高調波長に対する屈折率 $n_{c2}$ と、光導波路の基本波長に対する屈折率 $n_{f1}$ と、光導波路の第2高調波長に対する屈折率 $n_{f2}$ と、第1の表面と前記凹部側面の法線がなす角 $\theta$ とが

$$n_{c2} / n_{f2} < \sin(\theta) < n_{c1} / n_{f1}$$

の関係を満たすような保護膜を用いて膜厚を適切に設定すれば、高調波に対してのみ全反射条件が満足されるので波長分離が可能となる。よって、高調波の出力に混ざっている基本波の出力を容易に低減することができ、さらに、凹部を通過した基本波を検出することにより基本波出力特性をモニターすることができる。

【0180】また、光導波路が形成された基板の第1の表面とは反対側の第2の表面から光を取り出す場合には、その第2の表面上に回折格子を形成することにより、部品点数を削減することができる。

【0181】光導波路デバイスを構成する基板の第2の

表面から光を取り出す場合には、光導波路デバイスからの出射光の発散光路中に、基板を構成する複屈折性光学結晶と光学軸が直交する第2の複屈折性光学結晶を配置して非点収差を補正するのが好ましい。または、光導波路デバイスから光が出射される基板表面(第2の表面)を略円筒形状としたり、光導波路デバイスから出射される光の光路中に円筒レンズを配置してもよい。

【0182】本発明のコヒーレント光源によれば、本発明の光導波路デバイスと半導体レーザとを備えているので、半導体レーザへの戻り光を低減してノイズ特性を向上することができる。また、このコヒーレント光源を搭載した光ピックアップの小型化を実現することができる。さらに、光検出器と組み合わせて集積化ユニットの構成とした場合に、光導波路デバイスと半導体レーザとの位置合わせが不要であり、コヒーレント光源と光検出器の位置合わせのみで、容易に精度良く装置を構成することができる。

【0183】さらに、波長可変型半導体レーザを用いることにより、発振波長を光導波路型波長変換デバイスの位相整合波長強度内に固定することができるので、大きな変換効率を得ることができる。

【0184】さらに、半導体レーザの光出射端面と光導波路の光入射端面との距離を数 $\mu\text{m}$ 程度(例えば $0\mu\text{m}$ 以上かつ $10\mu\text{m}$ 以下)にして、結合レンズを用いない直接結合方式にすることにより、入射端面での戻り光を防いでノイズ特性を向上させることができる。

【0185】本発明のコヒーレント光源において、光導波路デバイスと半導体レーザとを凹形状パッケージ内に配置する場合、凹形状パッケージを封止する封止板を上記第2の複屈折結晶としたり、上記円筒レンズとすることにより、部品点数を削減してさらにコストの低減化を図ることができる。

【0186】本発明の集積化ユニットによれば、光導波路が形成された基板の第1の表面と対向する第2の表面から光が取り出されるコヒーレント光源と光検出器がサブマウントの同一面上に配置されているので、光の出射面近傍に光検出器を容易に集積化することができる。また、光検出器とコヒーレント光源を容易に精度良く位置合わせすることができ、効率良く集積化ユニットを組立可能である。

【0187】光導波路が形成された基板の第1の表面と対向する第2の表面から光を取り出す場合、コヒーレント光源と光検出器との間に遮光体を配置して迷光が光検出器に到達しないようにすれば、迷光成分による信号誤差を小さくすることができる。また、光検出器表面のサブマウント面からの高さを、コヒーレント光源の光出射側の表面より高くしたり、サブマウント表面に凹部を形成し、その凹部にコヒーレント光源を配置してもよい。

【0188】また、本発明の集積化ユニットによれば、光導波路が形成された基板の第1の表面から光が取り出



されるコヒーレント光源がサブマウントの第1面に形成され、検出器がサブマウントの第2面に形成されているので、上述のような遮光体や凹部を設けなくても迷光が光検出器に到達するのを容易に防ぐことができる。

【0189】さらに、集積化ユニットやコヒーレント光源を凹形状パッケージ内に配置する場合には、その凹形状パッケージを封止する透明基板上に回折格子を形成することにより、部品点数を削減することができる。

【0190】本発明の光ピックアップ装置によれば、本発明の集積化ユニットを用いて装置の小型化および薄型化を図ることが可能である。さらに、その集光光学系中、光導波路デバイスの基板表面、または凹形状パッケージを封止する透明基板上に回折格子を備えているので、安定した光学系を実現することができる。

【0191】また、集積化ユニットの光検出器を中央の第1領域（フォーカス用光検出器）と、第1の領域の両側の第2領域（トラッキング用光検出器）および第3領域（トラッキング用光検出器）の少なくとも3つの領域に分割して第2領域および第3領域を回折格子の格子縞に対して垂直な方向に配置することにより、例えば3ビームトラッキング法により信号検出を行うことができる。この場合、光源に近接した位置に回折格子が配置されるので、集積化ユニットの光導波路デバイスを構成する基板表面に回折格子を設ける構成が有効になる。

【0192】さらに、光検出器をコヒーレント光源に対して両側に配置し、各検出器に中央部分と周辺部分に分割された領域（フォーカス用光検出器）を設けて、集光光学系とレンズ作用を有する第2の回折素子（ホログラム）を設けることにより、例えばスポットサイズディテクション（SSD）法により信号検出を行うことができる。このSSD法と3ビームトラッキング法の組み合わせによる光ピックアップにおいては、ホログラムを用いた信号検出が容易であり、本発明の集積化ユニットが有効である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1A】実施の形態1における、端面が光導波路に対して斜めに形成された光導波路デバイスの概略構成を示す断面図である。

【図1B】実施の形態1の変形例における、光導波路デバイスの端面の一部が光導波路とともに斜めに形成された光導波路デバイスの概略構成を示す断面図である。

【図2】実施の形態1において、端面が光導波路に対して斜めに形成された光導波路デバイスと波長可変DBR半導体レーザを備えたコヒーレント光源を用いて波長変換を行う方法を説明するための断面図である。

【図3】実施の形態1における、端面が光導波路に対して斜めに形成された光導波路デバイスと波長可変DBR半導体レーザを備えたコヒーレント光源（SHG青色レーザ）の概略構成を示す断面図である。

【図4】実施の形態1のSHG青色レーザを搭載した光

ピックアップの概略構成を示す図である。

【図5】実施の形態2における、端面が光導波路に対して斜めに形成された光導波路デバイスの概略構成を示す断面図である。

【図6】実施の形態2において、端面が光導波路に対して斜めに形成された光導波路デバイスと波長可変DBR半導体レーザを備えたコヒーレント光源を用いて波長変換を行う方法を説明するための断面図である。

【図7】実施の形態2における、端面が光導波路に対して斜めに形成された光導波路デバイスと波長可変DBR半導体レーザを備えたコヒーレント光源（SHG青色レーザ）の概略構成を示す断面図である。

【図8】実施の形態3における、光導波路上に凹部が形成された光導波路デバイスの概略構成を示す斜視図である。

【図9A】実施の形態3における、光導波路上に凹部が形成された光導波路デバイスの概略構成を示す断面図である。

【図9B】実施の形態3における、光導波路上に凹部が形成され、高屈折率クラッド層が設けられた光導波路デバイスの概略構成を示す断面図である。

【図9C】実施の形態3における、凹部と光導波路デバイスとの好ましい位置関係を説明するための光導波路デバイスの概略構成を示す断面図である。

【図9D】実施の形態3の別の例における、光導波路上に凹部が形成された光導波路デバイスの概略構成を示す断面図である。

【図10】実施の形態3における、光導波路上に凹部が形成された光導波路デバイスと波長可変DBR半導体レーザを備えたコヒーレント光源（SHG青色レーザ）の概略構成を示す断面図である。

【図11】実施の形態3における、コヒーレント光源が配置された凹形状パッケージを封止する封止板に回折格子を設けた構成を示す断面図である。

【図12】実施の形態4における、サブマウントの同一面上に実施の形態1のコヒーレント光源と光検出器とが集積化され、さらに、集光光学系を備えた光ピックアップの概略構成を示す斜視図である。

【図13】実施の形態5における、サブマウントの同一面上に実施の形態1のコヒーレント光源と光検出器とが集積化された集積化ユニットの概略構成を示す斜視図である。

【図14】実施の形態5における、サブマウントの同一面上に実施の形態1のコヒーレント光源と光検出器とが集積化された集積化ユニットの概略構成を示す斜視図である。

【図15】実施の形態5における、サブマウントの一方の面上に実施の形態2のコヒーレント光源が配置され、他方の面上に光検出器が配置された光ピックアップの概略構成を示す斜視図である。

【図16】(a)は実施の形態6における、コヒーレント光源が配置された凹形状パッケージを複屈折封止板により封止した構成を示す斜視図であり、(b)は複屈折封止板の屈折率楕円体を示す図であり、(c)は光導波路基板の屈折率楕円体を示す図である。

【図17】実施の形態6における、コヒーレント光源が配置された凹形状パッケージを円筒レンズにより封止した構成を示す斜視図である。

【図18】円筒レンズの断面形状を示す断面図である。

【図19】実施の形態6における、コヒーレント光源が配置された凹形状パッケージを封止する封止板に回折格子を設けた構成を示す断面図である。

【図20】従来のSHG青色レーザの構成を示す断面図である。

【図21】従来のSHG青色レーザが搭載された光ピックアップの構成を示す図である。

【図22】従来の切り込みを有する光導波路デバイスの構成を示す斜視図である。

#### 【符号の説明】

1、15、33、41 MgドープLiNbO<sub>3</sub>基板  
 2、16、34、85 周期的分極反転領域  
 3、17、31、35、84、93 光導波路  
 4、18 端面(斜面)  
 5、19、38、56、80 波長可変DBR半導体レーザ  
 6、21、81 活性領域  
 7、20、82 DBR領域  
 8、22 レンズ  
 9、23、86 コリメートレンズ  
 10、87 偏光ビームスプリッタ  
 11、88 1/4波長板  
 12、53a、89 対物レンズ  
 13、90 検出レンズ系  
 14、91 フォトディテクタ  
 24、25、37、55、58、64 サブマウント \*

\* 26 取り出し窓

30 基板

32a、36a、40a 凹部の側面

32、36、40 凹部

39、50、60、60a、75 光導波路デバイス

42 保護膜

46 クラッド層

51、74 回折格子

52 フォーカス用光検出器

53 ホログラム

54 トラッキング用光検出器

57 シリコン基板

58、76 サブマウント

59、59a、62、78 光検出器(群)

63 遮光物体

70 光導波路基板

71 封止板

72 凹形状パッケージ

73 円筒レンズ

73a 円筒レンズの階段状断面形状

77 半導体レーザ

83 光導波路型波長変換デバイス

92 ガラス基板

94 切り込み

95 ディスク

100、150、500、800、900、950、9

70、980 光導波路デバイス

110、910 入射端面

200、300、600、700、1000、110

0、2000 コヒーレント光源

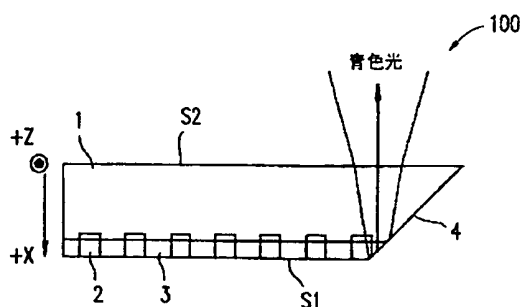
400、1200、1500、1600、1700、1

900、2000 光ピックアップ

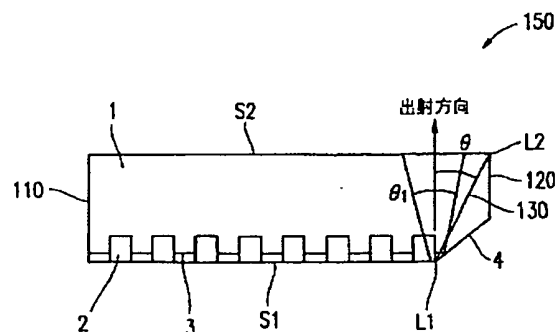
940 斜面

1300、1400 集積化ユニット

【図1A】

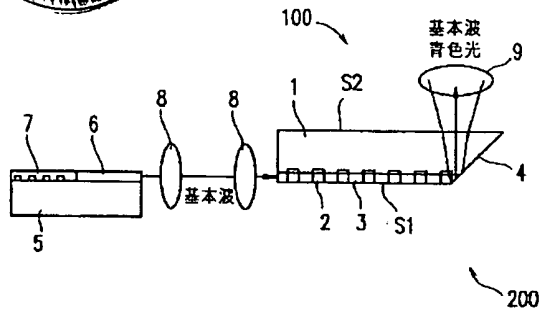


【図1B】

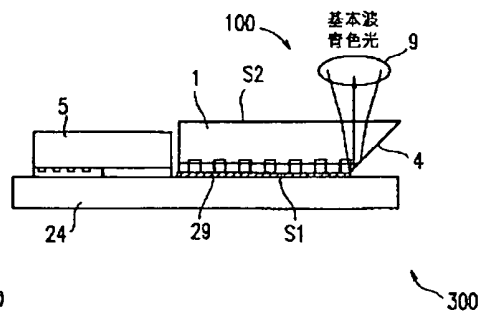




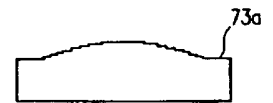
【図2】



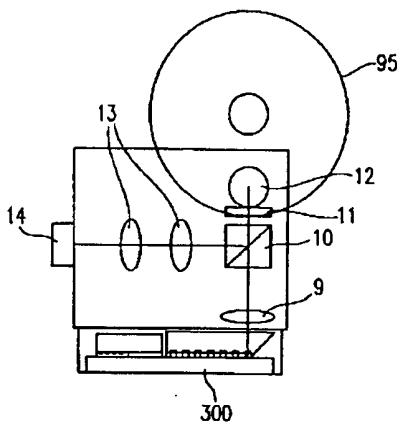
【図3】



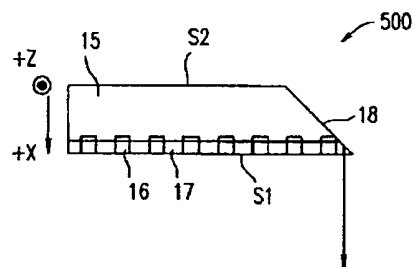
【図18】



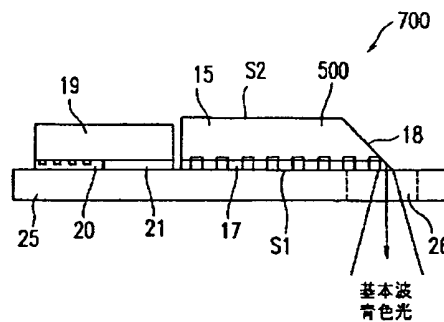
【図4】



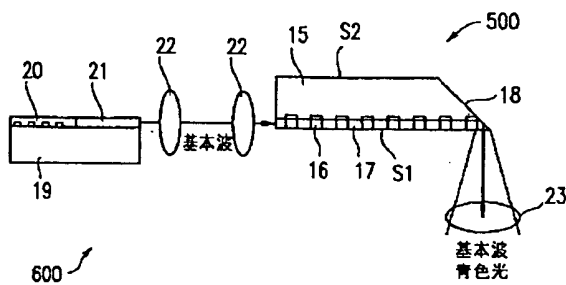
【図5】



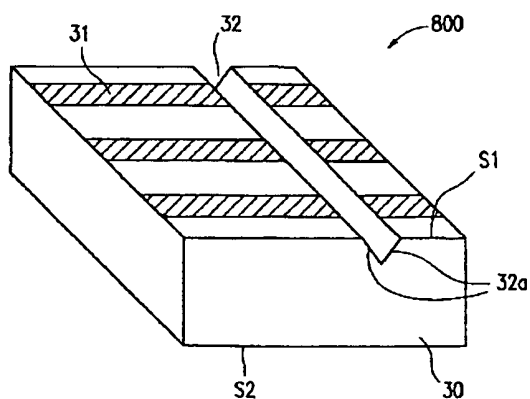
【図7】



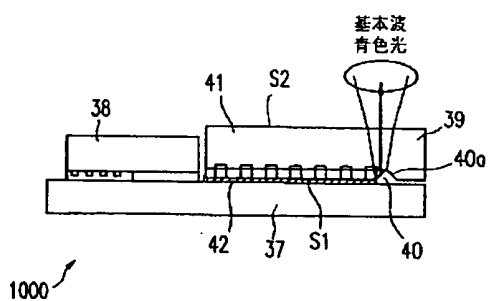
【図6】



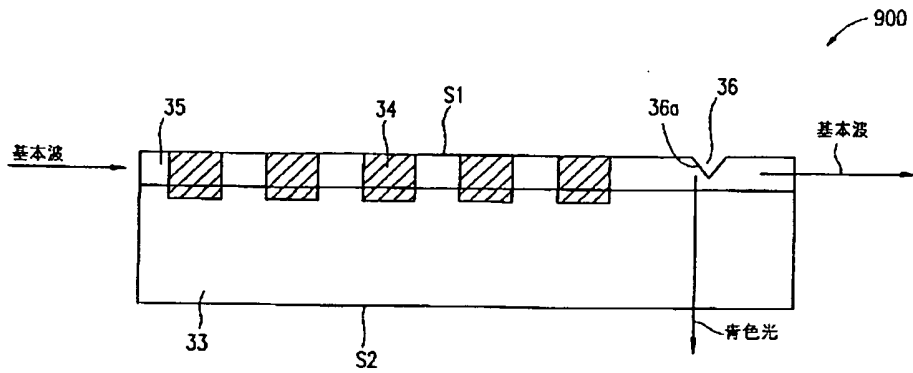
【図8】



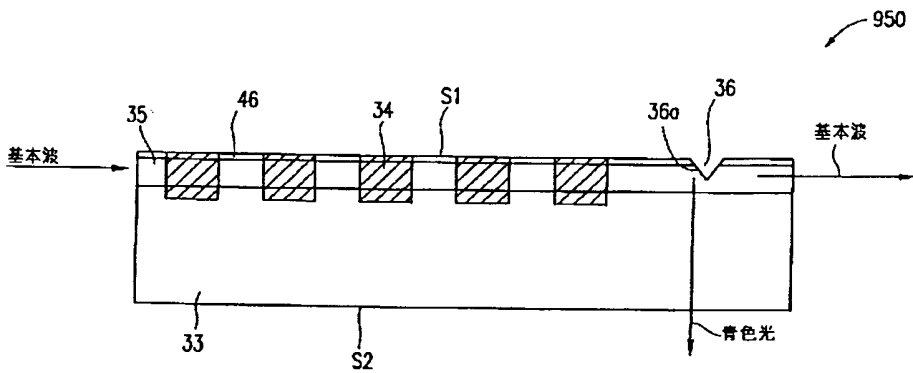
【図10】



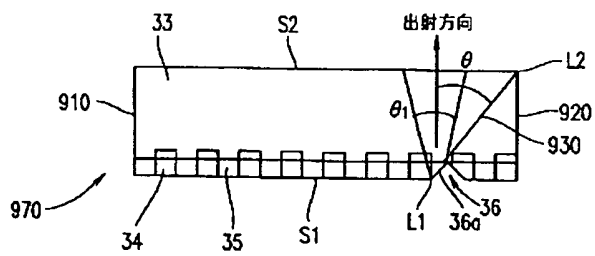
【図9A】



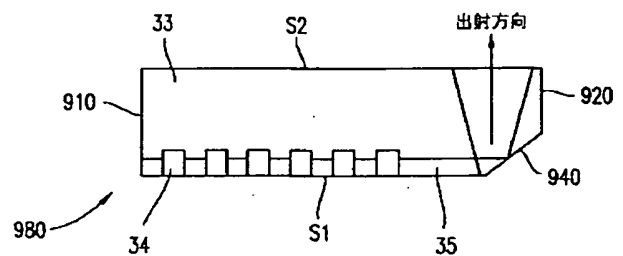
【図9B】



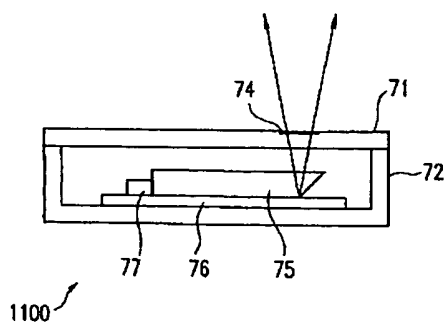
【図9C】



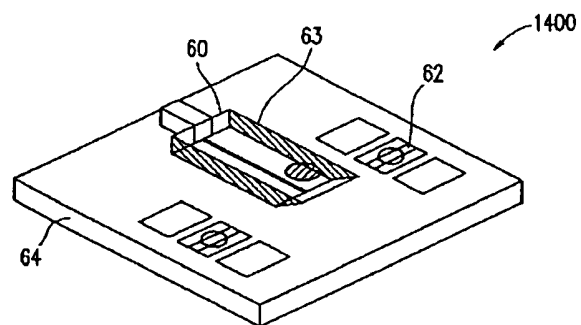
【図9D】



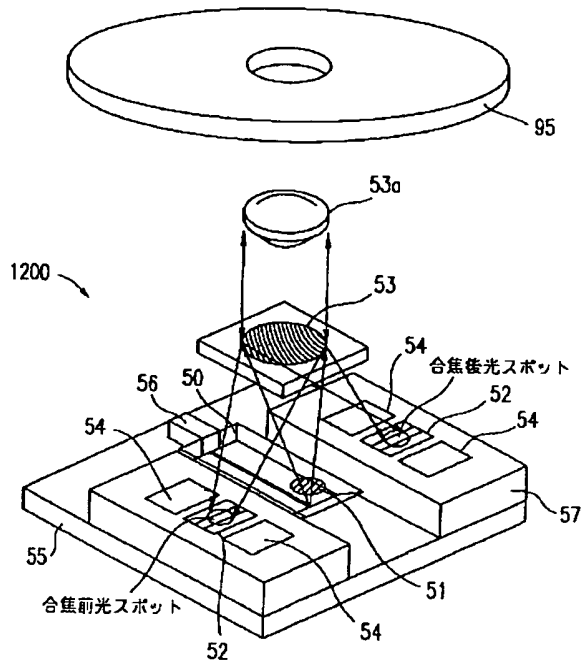
【図11】



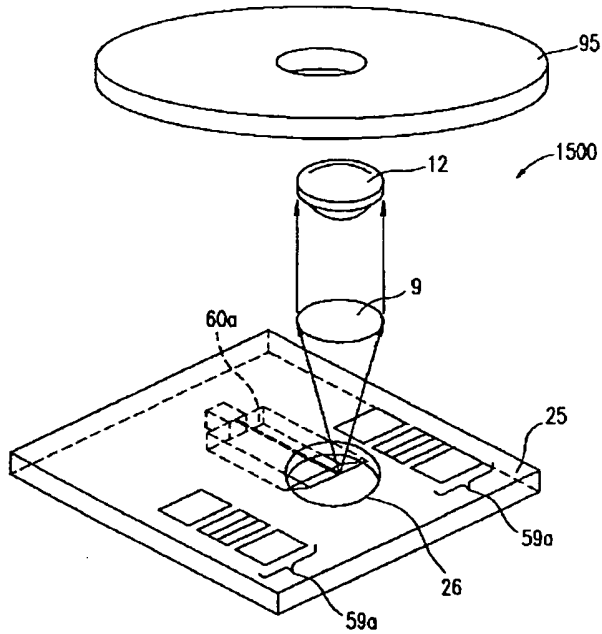
【図14】



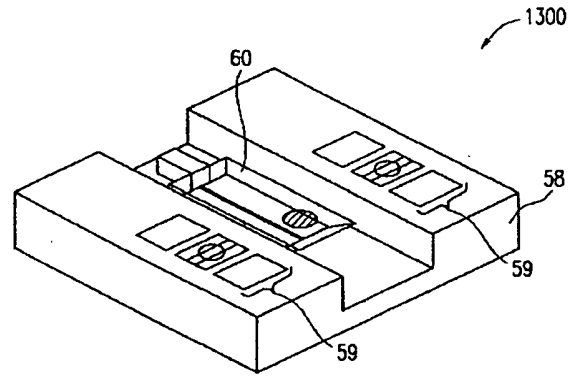
【図12】



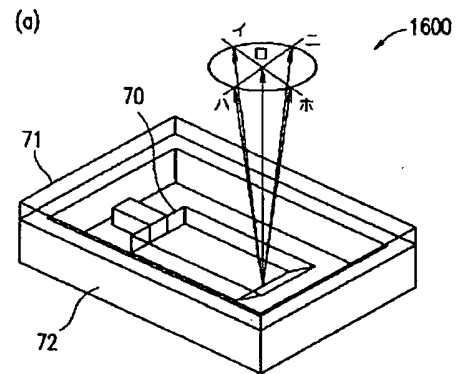
【図15】



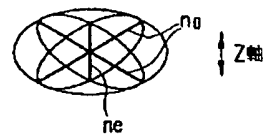
【図13】



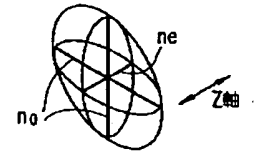
【図16】



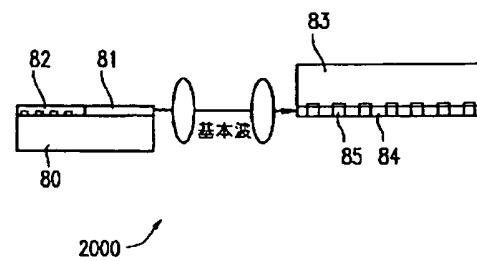
(b) 複屈折封止板の屈折率楕円体



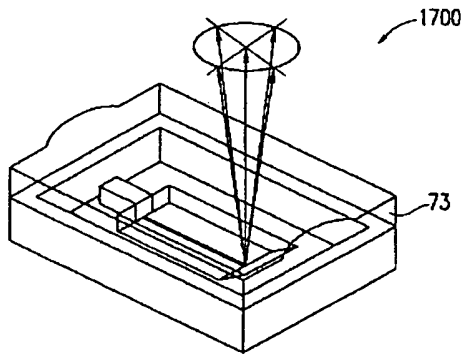
(c) 光導波路基板の屈折率楕円体



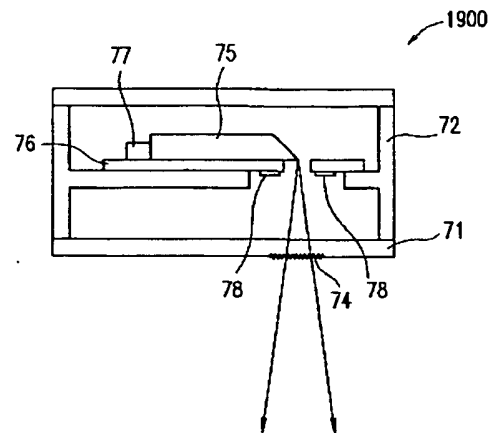
【図20】



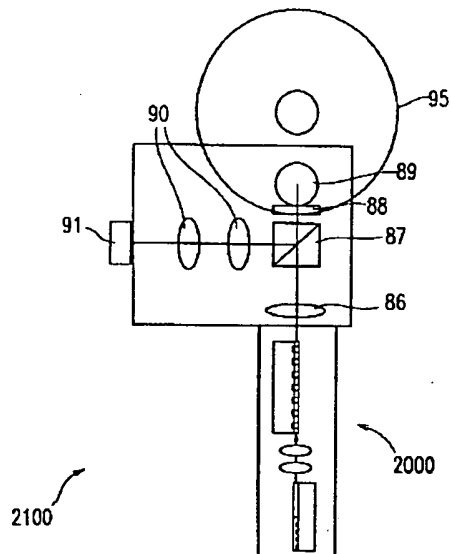
【図17】



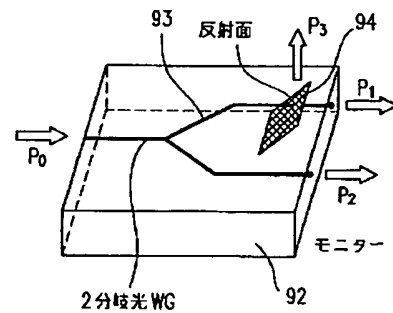
【図19】



【図21】



【図22】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>7</sup>

G 1 1 B 7/135

H 0 1 S 5/022

5/026

識別記号

F I

H 0 1 S 5/026

G 0 2 B 6/12

テ-マコード(参考)

A

H

B

(72)発明者 水内 公典

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 山本 和久

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内